

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KÖMÜR ÖZELLİKLERİNİN KÖMÜR-SU
KARIŞIMLARININ REOLOJİSİNE ETKİSİ**

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mad. Müh. Erşah KOÇAK
(505971093)**

101368

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 19 Ocak 2001
Tezin Savunulduğu Tarih : 12 Şubat 2001**

**Tez Danışmanı : Prof.Dr. Neşet ACARKAN (İ.T.Ü.)
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Gündüz ATEŞOK (İ.T.Ü.)
Prof.Dr. Bedri İPEKOĞLU (İ. Ü.)**

(Handwritten signatures and initials)

ŞUBAT 2001

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, ülkemizde büyük rezervlere ama düşük kaliteye sahip linyit kömürlerinin, toz halde kullanıldığı kömür-su karışımları üzerinde çalışılmıştır. Değişik kaliteye sahip Sibirya, Soma ve İstanbul bölgesi kömürlerinin özelliklerinin, kömür-su karışımlarının reolojik özelliklerine etkisi incelenmiştir.

Çalışmamın tamamlanmasında büyük emeği olan ve tezimi yöneten sayın hocam, Prof.Dr. Neşet ACARKAN'a içten teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans tezimin çalışmaları sırasında sürekli yardımlarını gördüğüm sayın, Prof.Dr. Gündüz ATEŞOK' a, Prof.Dr. Mehmet Sabri ÇELİK' e, Prof.Dr. Yalçın KAYTAZ' a ve Araştırma Görevlisi Feridun BOYLU' ya çok teşekkür ederim.

Desteğini benden hiçbir zaman esirgemeyen aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

ŞUBAT, 2001

Erşah KOÇAK

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	II
TABLO LİSTESİ	V
ŞEKİL LİSTESİ	VI
ÖZET	IX
SUMMARY	X
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. Kömür-Su Karışımlarının Özellikleri	3
2.1.1. Kömür Özelliklerinin Kömür-Su Karışımlarındaki Rolü	5
2.1.2. Kimyasal Reaktiflerin Kömür-Su Karışımlarındaki Rolü	6
2.1.3. Kömür-Su Karışımlarının Reolojik Özellikleri	12
2.1.3.1. Akışkanlarda Viskozite	13
2.1.3.2. Sıvıların Akış Türleri	14
2.2. Kömür-Su Karışımlarının Endüstriyel Uygulamaları	16
2.2.1. Kömür-Su Karışımlarının Yakılması	16
2.2.1.1. Kömür-Su Karışımının Atomizasyonu	20
2.2.1.2. Kömür-Su Karışımını Yakma Sistemleri	22
2.2.2. Kömür-Su Karışımlarının Kullanım Alanları	25
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	28
3.1. Deneylere Esas Numuneler	28
3.2. Numunelerin Özellikleri	28
3.2.1. Deney Numunelerinin Yüzey Özellikleri	30
3.3. Yöntem	32
3.4. Deneylerde Kullanılan Malzeme ve Teçhizat	36

3.4.1. Deneylerde Kullanılan Numunelerin Hazırlanması	36
3.4.2. Deneylerde Kullanılan Kimyasal Maddeler	38
3.4.3. Deneylerde Kullanılan Teçhizat	39
3.5. Deney Numunelerinin Adsorbsiyon Kapasitelerinin İncelenmesi	39
3.6. Kömür-Su Karışımlarında Viskozite Ölçüm Deneyleri	40
3.6.1. Pülpte Katı Oranının Viskoziteye Etkisi	40
3.6.1.1. Sibirya Kömürü İle Gerçekleştirilen Deneyler	40
3.6.1.2. Soma Kömürü İle Gerçekleştirilen Deneyler	42
3.6.1.3. İstanbul Kömürü İle Gerçekleştirilen Deneyler	44
3.6.1.4. Üç Kömüre Ait Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması	46
3.6.2. Pülp Sıcaklığının Viskoziteye Etkisi	49
3.6.2.1. Sibirya Kömürü İle Gerçekleştirilen Deneyler	49
3.6.2.2. Soma Kömürü İle Gerçekleştirilen Deneyler	51
3.6.2.3. İstanbul Kömürü İle Gerçekleştirilen Deneyler	53
3.6.2.4. Üç Kömüre Ait Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması	55
3.6.3. Dolgu Fraksiyonunun Viskoziteye Etkisi	56
3.6.3.1. Sibirya Kömürü İle Gerçekleştirilen Deneyler	56
3.6.3.2. Soma Kömürü İle Gerçekleştirilen Deneyler	59
3.6.3.3. İstanbul Kömürü İle Gerçekleştirilen Deneyler	61
3.7. Çökelme İndeksi Deneyleri	63
3.8. Kömür-Su Karışımlarının Akış Türünün İncelenmesi	66
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	69
KAYNAKLAR	73
ÖZGEÇMİŞ	76

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. KSK hazırlanmasında Kullanılan Reaktifler.	7
Tablo 2.2. KSK yakıtlarında hedeflenen özellikler.	17
Tablo 2.3. Boyler yakıcısının kül özellikleri.	23
Tablo 2.4. KSK'nın Kullanım Alanları.	25
Tablo 3.1. Kömürlerin BET tekniği ile ölçülen özgül yüzey alanı ve porozite değerleri.	28
Tablo 3.2. Kömürlerin kuru baza göre standart ve elementel analiz değerleri.	29
Tablo 3.3. 50 mikron ortalama tane boyutunda hazırlanan numunelerde boyut gruplarının dağılım oranları.	37
Tablo 3.4. 35 mikron ortalama tane boyutunda hazırlanan numunelerde boyut gruplarının dağılım oranları.	37
Tablo 3.5. 19 mikron ortalama tane boyutunda hazırlanan numunelerde boyut gruplarının dağılım oranları.	38
Tablo 3.6. Kömürlerde, 100 dev/dak'da 1000 cp viskozite elde edilen sonuçlar.	48
Tablo 3.7. Sibirya kömürü ile oluşturulan KSK'ların değişik pülp sıcaklıklarındaki viskozite ölçüm sonuçları.	49
Tablo 3.8. Soma kömürü ile oluşturulan KSK'ların değişik pülp sıcaklıklarındaki viskozite ölçüm sonuçları.	51
Tablo 3.9. İstanbul kömürü ile oluşturulan KSK'ların değişik pülp sıcaklıklarındaki viskozite ölçüm sonuçları.	53
Tablo 3.10. Sibirya kömüründe dolgu fraksiyonu ve viskozite ölçüm sonuçları.	57
Tablo 3.11. 50 mikron ortalama tane boyutunda hazırlanan iki karışımın boyut dağılımları.	58
Tablo 3.12. Soma kömürünün dolgu fraksiyonu ve viskozite ölçüm sonuçları.	60
Tablo 3.13. İstanbul kömürünün dolgu fraksiyonu ve viskozite ölçüm sonuçları.	61
Tablo 3.14. Sibirya kömürünün farklı ortalama boyutlu karışımlarının değişik püpte katı oranlarındaki çökelme indeksleri sonuçları.	63
Tablo 3.15. Soma kömürünün farklı ortalama boyutlu karışımlarının değişik püpte katı oranlarındaki çökelme indeksleri sonuçları.	64
Tablo 3.16. İstanbul kömürünün farklı ortalama boyutlu karışımlarının değişik püpte katı oranlarındaki çökelme indeksleri sonuçları.	64
Tablo 3.17. Sibirya, Soma ve İstanbul KSK'larının, viskozimetre'de değişik dönme hızlarındaki viskozite ve kayma hızı, kayma gerilimi değerleri.	67

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : Kömür yapısal modelleri.	8
Şekil 2.2 : Dispersiyon mekanizması.	8
Şekil 2.3 : Dispersiyon mekanizmasının değişik bir şematik gösterimi.	9
Şekil 2.4 : Kömür tanelerinin çökme mekanizmaları.	10
Şekil 2.5 : Akışkanlarda viskozitenin şematik gösterimi	13
Şekil 2.6 : Kayma gerilimi - Kayma hızı diyagramında akışkan türleri.	15
Şekil 2.7 : Damlacığın Yakıldığı Test Cihazı.	18
Şekil 2.8 : KSK'nın Yanma Hızı.	18
Şekil 2.9 : Tipik bir KSK yakıcısı.	19
Şekil 2.10 : Tipik bir KSK yakıcısı.	20
Şekil 2.11 : KSK Yanmasında Etkili Olan Kontrol Faktörleri.	20
Şekil 3.1 : Sibirya kömürünün reaktifli (PSS+CMC) ve reaktifsiz yapılan zeta potansiyeli ölçüm sonuçları.	30
Şekil 3.2 : Soma kömürünün reaktifli (PSS+CMC) ve reaktifsiz yapılan zeta potansiyeli ölçüm sonuçları.	30
Şekil 3.3 : İstanbul kömürünün reaktifli (PSS+CMC) ve reaktifsiz yapılan zeta potansiyeli ölçüm sonuçları.	31
Şekil 3.4 : Üç kömürün reaktifsiz yapılan zeta potansiyelleri ölçümleri.	31
Şekil 3.5 : Üç kömürün reaktifli yapılan zeta potansiyelleri ölçümleri.	32
Şekil 3.6 : Kullanılan reaktifin (%90 PSS+%10 CMC) kalibrasyon eğrisi.	34
Şekil 3.7 : Kömür-reaktif adsorbsiyon izotermi.	40
Şekil 3.8 : 19 mikron ortalama tane boyutlu Sibirya kömürü ile, değişik pülpte katı oranlarında viskozite deney sonuçları.	41
Şekil 3.9 : 35 mikron ortalama tane boyutlu Sibirya kömürü ile, değişik pülpte katı oranlarında viskozite deney sonuçları.	41
Şekil 3.10 : 50 mikron ortalama tane boyutlu Sibirya kömürü ile, değişik pülpte katı oranlarında viskozite deney sonuçları.	42
Şekil 3.11 : 19 mikron ortalama tane boyutlu Soma kömürü ile, değişik pülpte katı oranlarında viskozite deney sonuçları.	43
Şekil 3.12 : 35 mikron ortalama tane boyutlu Soma kömürü ile, değişik pülpte katı oranlarında viskozite deney sonuçları.	43
Şekil 3.13 : 50 mikron ortalama tane boyutlu Soma kömürü ile, değişik pülpte katı oranlarında viskozite deney sonuçları.	44
Şekil 3.14 : 19 mikron ortalama tane boyutlu İstanbul kömürü ile, değişik pülpte katı oranlarında viskozite deney sonuçları.	45
Şekil 3.15 : 35 mikron ortalama tane boyutlu İstanbul kömürü ile, değişik pülpte katı oranlarında viskozite deney sonuçları.	45
Şekil 3.16 : 50 mikron ortalama tane boyutlu İstanbul kömürü ile, değişik pülpte katı oranlarında viskozite deney sonuçları.	46

Şekil 3.17 : 19 mikron ortalama tane boyutlu İstanbul, Soma ve Sibirya kömürleri ile değişik PKO'larda gerçekleştirilen viskozite deney sonuçları.	46
Şekil 3.18 : 35 mikron ortalama tane boyutlu İstanbul, Soma ve Sibirya kömürleri ile değişik PKO'larda gerçekleştirilen viskozite deney sonuçları.	47
Şekil 3.19 : 50 mikron ortalama tane boyutlu İstanbul, Soma ve Sibirya kömürleri ile değişik PKO'larda gerçekleştirilen viskozite deney sonuçları.	47
Şekil 3.20 : 19 mikron ortalama boyut ve % 48 pülpte katı oranındaki Sibirya KSK'nda, pülp sıcaklığına bağlı olarak viskozitesinin değişimi.	49
Şekil 3.21 : 35 mikron ortalama boyut ve % 55 pülpte katı oranındaki Sibirya KSK'nda, pülp sıcaklığına bağlı olarak viskozitesinin değişimi.	50
Şekil 3.22 : 50 mikron ortalama boyut ve % 60 pülpte katı oranındaki Sibirya KSK'nda, pülp sıcaklığına bağlı olarak viskozitesinin değişimi.	50
Şekil 3.23 : 19 mikron ortalama boyut ve % 48 pülpte katı oranındaki Soma KSK'nda, pülp sıcaklığına bağlı olarak viskozitesinin değişimi.	51
Şekil 3.24 : 35 mikron ortalama boyut ve % 55 pülpte katı oranındaki Soma KSK'nda, pülp sıcaklığına bağlı olarak viskozitesinin değişimi.	52
Şekil 3.25 : 50 mikron ortalama boyut ve % 60 pülpte katı oranındaki Soma KSK'nda, pülp sıcaklığına bağlı olarak viskozitesinin değişimi.	52
Şekil 3.26 : 19 mikron ortalama boyut ve % 48 pülpte katı oranındaki İstanbul KSK'nda, pülp sıcaklığına bağlı olarak viskozitesinin değişimi.	53
Şekil 3.27 : 35 mikron ortalama boyut ve % 55 pülpte katı oranındaki İstanbul KSK'nda, pülp sıcaklığına bağlı olarak viskozitesinin değişimi.	54
Şekil 3.28 : 50 mikron ortalama boyut ve % 60 pülpte katı oranındaki İstanbul KSK'nda, pülp sıcaklığına bağlı olarak viskozitesinin değişimi.	54
Şekil 3.29 : Üç kömür KSK'nın 19 mikron ortalama boyut ve % 48 pülpte katı oranında, pülp sıcaklığına bağlı olarak viskozitelerinin değişimi.	55
Şekil 3.30 : Üç kömür KSK'nın 35 mikron ortalama boyut ve % 55 pülpte katı oranında, pülp sıcaklığına bağlı olarak viskozitelerinin değişimi.	55
Şekil 3.31 : Üç kömür KSK'nın 50 mikron ortalama boyut ve % 60 pülpte katı oranında, pülp sıcaklığına bağlı olarak viskozitelerinin değişimi.	56
Şekil 3.32 : Sibirya kömüründe ortalama tane boyutuna bağlı olarak dolgu fraksiyonunun değişimi.	57
Şekil 3.33 : Sibirya kömüründe, 50 mikron ortalama tane boyutlu birinci ve ikinci karışımın farklı P.K.O. larda viskozite ölçüm sonuçları.	59
Şekil 3.34 : Soma kömürünün ortalama tane boyuna göre dolgu fraksiyonunun değişimi.	59
Şekil 3.35 : Soma kömüründe, 50 mikron ortalama tane boyutlu birinci ve ikinci karışımın değişik P.K.O. larda viskozite değerleri.	60

Şekil 3.36 : İstanbul kömürünün ortalama tane boyuna göre dolgu fraksiyonu değişimi.	61
Şekil 3.37 : İstanbul kömüründe,50 mikron ortalama tane boyutlu birinci ve ikinci karışımın değişik P.K.O. larda viskozite değerleri.	62
Şekil 3.38 : Üç kömürün 19 mikron ortalama boyutlu karışımlarında çökelme indeksinin PKO'ya göre değişimi.	65
Şekil 3.39 : Üç kömürün 35 mikron ortalama boyutlu karışımlarında çökelme indeksinin PKO'ya göre değişimi.	65
Şekil 3.40 : Üç kömürün 50 mikron ortalama boyutlu karışımlarında çökelme indeksinin PKO'ya göre değişimi.	66
Şekil 3.41 : 19 mikron ortalama boyut ve % 45 pülp te katı oranındaki Sibirya, Soma ve İstanbul kömürü KSK'nın kayma gerilimi-kayma hızı reogramı.	68



ÖZET

Kömür özelliklerinin farklı olması nedeniyle, yüksek dereceli kömürlerden oluşturulacak kömür su karışımları ile aynı koşullarda, düşük dereceli kömürlerden oluşturulacak KSK özellikleri arasında farklar görülmektedir. Kömür su karışımlarının reolojik yani akış özelliklerinden en önemlisi viskozitedir. KSK'nın viskozitesinin düşük olması istenmektedir. Karışımın uzun depolama şartlarında yeterince çökmeden kalması ve boru hatlarından pompalanması için en önemli parametre olan viskozite değişik kömür özelliklerine bağlıdır.

Bu çalışmada; kömür yüzey yükü ve kömür yüzeyinin kimyasal madde adsorbsiyonu kapasitesinin ölçümleri, kömür-su karışımlarının, viskozite ölçümleri, değişik ısılarda viskozite ölçümleri, kömür dolgu fraksiyonunun viskoziteye etkisi, çökelme indeksinin viskoziteye etkisi incelenmiş ve kömür-su karışımının akış türü belirlenmiştir. Bu araştırma için üç değişik kalitede ve 19, 35 ve 50 mikron ortalama tane boyutunda Sibirya, Soma ve İstanbul-Ağaçlı bölgesi kömürleri kullanılmıştır.

Kömürün ıslanmasını, dağılmasını sağlamak için ve çökelmeyi önlemek için KSK'da kimyasal maddeler kullanılmaktadır. Bu kimyasal maddeler, çözeltinin yüzey gerilimini değiştirerek tanelerin dağılma ve ıslanmasını temin ederler. Bu çalışmada dispersan anyonik madde olarak; PSS (Sodium Polystyrene Sulfonate), Stabilizer madde olarak CMC (Carboxymethyl Cellulose Sodium Salt) kullanılmıştır.

Deneyler sonucunda, kimyasal madde adsorbsiyonunun, kömürleşme derecesi arttıkça yükseldiği saptanmıştır. Adsorbsiyon kapasitesi, Sibirya kömürü için 0,00060, Soma kömürü için 0,00052, İstanbul kömürü için 0,00036 mg/g şeklindedir. Üç ortalama tane boyutunda pülpte katı oranı arttıkça viskozitenin arttığı; 50 mikron ortalama boyutlu Sibirya kömürünün, %60 PKO'ya sahip karışımında 750 cp, %63 PKO'ya sahip karışımında 1050 cp, %65 PKO'ya sahip karışımında ise 1800 cp viskoziteye sahip olduğu tespit edilmiştir.

Uygun viskozitede (1000 cp viskozite 100 dev/dak'da), en yüksek katı yüklemesi Sibirya kömüründe yapılabilmiş, en düşük katı yüklemesi İstanbul kömüründe yapılabilmektedir. 50 mikron ortalama boyutta Sibirya KSK'sında 63, Soma KSK'sında 58 ve İstanbul KSK'sında 53 (%PKO) katı yüklemesine ulaşılmıştır.

Kömürlerin, değişik sıcaklıklardaki KSK viskozitesinin incelenmesinde, ısının artmasıyla viskozitenin azaldığı, örneğin; %48 PKO'ya sahip 19 mikron boyutlu Sibirya kömürünün 2 derecede 1268 cp, 10 derecede 1118 cp, 25 derecede 980 cp, 30 derecede 952 cp viskoziteye ulaşıldığı saptanmıştır.

Kömürler arasında en fazla katı yüklemesi ve en düşük viskozite Sibirya kömüründe elde edilmiştir. En az katı yüklemesi yapılabilen ve en yüksek viskozite elde edilen kömür ise, İstanbul linyitidir. Bu sonuçlar KSK hazırlanmasında kömürleşme derecesi, prozite, nem çekme özelliği, uçucu madde, C/H ve O/H oranlarının önemli etkisinin olduğunu ortaya koymuştur.

THE EFFECTS OF COAL'S PROPERTIES TO THE RHEOLOGY OF COAL-WATER MIXTURES'

SUMMARY

There are a lot of differences between high rank and low rank coals in coal water mixtures, because of difference in coal's physical and chemical properties of coal. Viscosity is the most important parameter identifying the rheology of the coal water mixtures. Viscosity must be maintained at low levels for industrial use. Because low viscosity prevents sedimentation and flocculation of coal particles in coal water mixtures.

In this study, electrokinetic potential of coal and zero point of charge, have been determined. Coal surface's adsorption capacity of chemical additives, properties of coal water mixture on rheological and viscosity on different temperatures, the effect of different particles of viscosity size to the coal water mixture, coal water mixture's swell and sedimentation degree and rheological properties were investigated. Three different rank coals from, Siberia, İstanbul and Soma, and three different particle size distribution were used for experiments.

Also, chemical additives are used for dispersing and wetting coal particles. In this study, PSS (Sodium Polystyrene Sulfonate) is used for dispersion as anionic chemical additive and CMC (Carboxymethyl Cellulose Sodium Salt) is used for stabilizer of coal particles on coal water mixtures.

The following results were obtained; Adsorption of chemicals is rising while coal rank is increased (for Siberia coal 0,00060, Soma coal 0,00052, İstanbul coal 0,00036 mg/g), coal water mixture's viscosity is rising while coal pulp density is increased (on 50 mikron Siberia CWM, 750 cp in %60 pulp density, 1050 cp in %63 pulp density, 1800 cp in %65 pulp density).

At the optimum viscosity (1000 cp viscosity, 100 rpm), the highest pulp density additive can be managed with high rank coals like Siberia coal (on 50 mikron Siberian CWM, %63 pulp density, Soma CWM, %58 pulp density, İstanbul CWM, %53 pulp density). İstanbul coal is the lowest rank coal and it thus causes lowest coal additives in coal water mixtures.

Experiments conducted at different temperatures viscosity goes down, while temperature is increased (on %48 pulp density and 19 mikron Siberia CWM, 1268 cp at 2 degrees, 1118 cp at 10 degrees, 980 cp at 25 degrees, 952 cp at 30 degrees).

The highest coal additive can be handled with high rank coals like Siberia coal. İstanbul yields the lowest rank coal and causes lowest coal additives in coal water mixtures, because of the degree of C/H, O/H, coal rank and wettability capacity of coal.

1.GİRİŞ

Dünya nüfusunun artmasıyla, enerji ihtiyacı da artış göstermekte ve özellikle rezervi az olan enerji hammaddeleri yönünden sıkıntılar yaşanmaktadır. Günümüzde enerji hammaddesi olarak kullanılan organik yakıtlar içinde petrol, azlığı nedeniyle ulaşım amaçlı kullanılmakta, doğal gaz ise daha çok ısıtma ve elektrik üretiminde kullanılmaktadır. Kömür ise organik enerji hammaddeleri içerisinde en fazla rezerve ve kullanım alanına sahip bir kaynaktır. Petrol rezervleri azaldığından enerji ve petrol krizlerine hazırlıklı olmak için, petrole alternatif bir yakıt bulunması gerekmektedir.

Türkiye'nin enerji kaynakları içinde ilk sırada yer alan linyit kömürü, en önemli enerji kaynağımız durumundadır. Türk linyitlerinin kırılkan özellikte olması nedeniyle, üretimleri, hazırlanmaları, taşınmaları ve depolanmaları sırasında çok miktarda toz kömür oluşmaktadır. Ülkemizdeki kömür işletmelerinin çoğunda değerlendirilemeyen toz kömür stokları vardır. Bu stoklarda meydana gelen kendiliğinden tutuşma olayı önemli sorunlar yaratmakta, hava kirliliğine neden olmaktadır. Yağmur suları ile sürüklenen toz kömürler ile suda çözünen çeşitli maddelerde, suların kirlenmesine neden olmaktadır. Günümüzde, toz kömürün bu zararlarının, gelişen teknolojiyle faydaya dönüştürülmesi gerçekleşmektedir. Enerji tüketimimiz hızla artarken, büyük linyit rezervlerimizin değerlendirilmesi gerekmektedir. Kömür tozlarının değerlendirilmesi amacıyla geliştirilen ve uygulanmakta olan üç ayrı yöntem vardır, bunlar;

- 1.Direk yakma sistemlerinde yakılması,
- 2.Briketlenmesi,
- 3.Kömür-su karışımları olarak yakılması.

Petrole bağımlılığı azaltan kömür-su karışımlarının keşfi birinci Dünya savaşı yıllarında yapılmış, daha sonra yaşanan petrol krizleriyle önemi artmıştır. KSK geniş

bir kullanım alanına sahiptir. Bunlar; buhar üretmek üzere endüstriyel Boylerlerde veya elektrik santrallerindeki yakıcılarda yakılması, çelik endüstrisinde yüksek fırınlarda yakılması, çimento fırınlarında yakılması ve ısıtma amaçlı kullanılmasıdır. Kömür-su karışımlarının yakıt olarak değerlendirilmesinin iki temel nedeni vardır; Birincisi, karışımın mevcut fuel-oil yakma sistemlerinde yapılacak ufak değişikliklerle ağır fuel-oil'e benzer şekilde yakılabilmesi ve depolanabilmesidir. İkinci neden ise, kömür-su karışımlarının boru hatları ile taşınabilir olması yani nakliyyede kolaylık sağlamasıdır.

Bu çalışmada, kömür-su karışımları (KSK) konusu ele alınmış ve toz kömürlerin KSK halinde kullanılmasında önemli bir etken olan kömür özelliklerinin (fiziksel, kimyasal, fizikokimyasal) KSK'nın reolojisi (akış özellikleri) üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Böylece, KSK hazırlanırken, hangi tipteki kömürler ile hangi özellikte KSK oluşturulabileceği konusunun aydınlatılmasına çalışılmıştır.

Bu tez çalışması, giriş, KSK ve reolojisi hakkında genel bilgiler, üç farklı kömür üzerinde yapılan deneysel çalışmaları ve deneysel sonuçları ile irdelenmesini kapsamaktadır.

2. GENEL BİLGİLER

Bu bölüm; kömür-su karışımları (KSK), reolojik özellikler, KSK'nın yakılması konularındaki genel bilgileri kapsamaktadır.

2.1. Kömür-Su Karışımlarının Özellikleri

Toplam rezervi 8 milyar ton olan linyit kömürü, ülkemiz fosil enerji kaynakları içinde birinci sırada yer almakta ve hem günümüzde hem de yakın gelecekte vazgeçemeyeceğimiz bir enerji kaynağı durumundadır. Yurdumuzdaki kömür işletmelerinin çoğunda değerlendirilemeyen toz kömür stokları vardır. Bu stoklarda meydana gelen kendiliğinden tutuşma olayları büyük sorunlar yaratmakta ve hava kirliliğine neden olmaktadır. Yağmur suları ile sürüklenen toz kömürler ile suda çözünen çeşitli maddeler çevre sularının kirlenmesine yol açmaktadır.

Enerji tüketiminin hızla arttığı günümüz koşullarında, yenilenemeyen bir enerji kaynağı olan linyitlerimizin en iyi şekilde değerlendirilmesi gerektiğinden, çeşitli proseslerde oluşan toz kömürün de değerlendirilmesi gerekmektedir. Kömür tozlarının değerlendirilmesi amacıyla geliştirilmiş ve dünyada uygulanmakta olan üç yöntem vardır:

- 1) Toz kömürün yakma sistemlerinde yakılması,
- 2) Çeşitli katkı maddeleri ile biriktirilmesi,
- 3) Kömür-sıvı karışımları halinde yakılması.

Akışkanlaştırıcı ortam olarak suyun kullanıldığı ve petrole bağımlılığı ortadan kaldırmayı amaçlayan kömür-su karışımları (KSK), 1980 yılından sonra bu konu ile ilgili araştırmaların odak noktasını oluşturmuştur. Kömür-su karışımlarının endüstriyel bir yakıt olarak ilk kullanımı, 1950' li yıllarda eski Sovyetler Birliğinde olmuştur [1].

Sovyetler ve Almanya, %50'nin üzerinde bir kömür yüklemesi ile KSK yakılmasını başarıyla gerçekleştirmişlerdir. ABD'nde KSK yakılması ile ilgili başarılı birçok çalışma yayımlanmıştır [1]. KSK ile ilgili ilk çalışma, fuel oil gibi kolayca kullanılabilir ve su giderilmesi gerekmeden yanabilecek bir yakıt üretiminin teknik fizibilitesi şeklinde yapılmıştır. Bu çalışmalardan elde edilen temel sonuç, sıvılaştırma veya gazlaştırma gibi pahalı teknikler uygulanmadan, petrol ürünlerinin yerini KSK'nın alabileceğini göstermiştir. Bir KSK ünitesinin cihaz ve bakım maliyetleri, bir kömür sıvılaştırma ünitesi ile karşılaştırıldığında ihmal edilebilir düzeyde olmaktadır ve karışımın hazırlanması (öğütme ve kimyasal katkı maddelerinin belirli miktarlarda olması durumunda) vasıfsız operatörler tarafından gerçekleştirilebilecek şekilde karmaşık olmayan bir işlemdir. KSK, kömür kullanımında yeni bir alan sunmaktadır. Temel kullanım alanının, mevcut endüstriyel kazan ve fırınlarda fuel oil ile yer değiştirmesi şeklinde olması beklenmektedir.

Kömür-su karışımlarının yakıt olarak kullanılmasında iki temel hedef vardır. Birincisi, mevcut fuel-oil yakma sistemlerinde yapılacak ufak değişikliklerle KSK'nın ağır fuel-oil'e benzer şekilde yakılabilmesi ve depolanabilmesidir. İkinci hedef ise, kömür-su karışımlarının, boru hatları ile taşınabilmesini sağlamaktır. Buna karşılık, yakıcı üniteye mekanik kısımların aşınma ve tıkanmasındaki artış, alevin kararlı olmayışı ve ısı transferindeki değişimler ve depolama ile pompalama esnasında karşılaşılan stabilite ve akış sorunları gibi bazı olumsuzlukların da üstesinden gelinmesi gerekmektedir. Ayrıca, kül ve yanmayan karbon tanelerinin baca gazları ile emisyonu da sorun yaratan konulardır. KSK' da üstesinden gelinmesi gereken en önemli sorunlar, yakıtın hazırlanma maliyeti ile yakıttaki suyun etkisidir. KSK' nın depolama, taşıma vs. sorunları, toz kömürün de aynı sorunlara sahip olması nedeniyle, dezavantaj yaratmamaktadır. Ancak, katkı maddeleri de maliyet artırıcı bir unsur oluşturmaktadır.

Deneysel çalışmalar ve endüstriyel uygulamalara göre, iyi bir KSK, %60-75 (ağırlıkça) kömür, %24-39 su ve %1 kimyasal reaktiflerden oluşmaktadır. Uygun karışım tanımından, maksimum bir kömür yüklemesi yapılmış, en fazla ağır fuel-oil'inkine eşdeğer viskoziteye sahip, belirli depolama ve işletme koşullarında sorun yaratmayan (kömür tanelerinin çökmesi, karışım viskozitesinde ani değişimler gibi) bir karışım anlaşılmaktadır. Endüstriyel uygulamalarda KSK'dan, KSK'ya ait Brookfield viskozitesinin 100 dev/dak'da 1000 cp olması ve çalkalama olmaksızın 3

hafta sonunda oluşan çökeltinin, KSK hacminin %5'inden daha az olması istenmektedir [2].

Kömür-su karışımı yakıtlarının kullanılabilirliği, birçok değişkenden etkilenmektedir. Bunlardan bazıları; ürünün elde edilmesi ve kısa veya uzun mesafeli taşınması, atomizasyonu veya karışımın kazana girişi ve kazanda yakılması gibi öncelikli işlemlerdir. KSK' nın hazırlanmasında göz önüne alınması gereken en önemli etkenler şunlardır:

1. Karışımındaki kömürün cinsi ve miktarı,
2. Kullanılan kimyasal reaktiflerin cins ve miktarı,
3. Karışımında kullanılan kömürün tane boyu ve boyut dağılımı.

2.1.1. Kömür Özelliklerinin Kömür-Su Karışımlarındaki Rolü

KSK'nın bir avantajı, kullanılacak kömür tipinde, bir sınırlamanın olmamasıdır. Ancak, gözeneklilik ve yüzey oksidasyonu gibi özellikler, karışımında ulaşılabilecek maksimum kömür miktarını etkileyebilmektedir. Karışım oluşturmada zor olan kömürler için bile, uygun türde ve miktarda dağıtıcı maddelerin kullanılmasıyla %65 (ağırlıkça) kömür yüklemesi mümkün olabilmekte ve bu kömür derişimine sahip karışım, kararlı bir alev ile yakılabilmektedir (düşük uçucu maddeli kömürler hariç) [3]. Kömürdeki uçucu maddenin %30'dan fazla olması, iyi bir alev kararlılığı ve etkin bir karbon yanmasını sağlamaktadır [4].

Kömürün hidrofilik özelliği, dağıtıcı madde etkinliğini azaltması nedeniyle, önemlidir. Hidrofilik bir kömür, KSK'daki kömür oranını azaltmaktadır [5]. Kömürleşme derecesinin artışına paralel olarak hidrofobik özelliğinin de arttığı ileri sürülmüştür [6]. Bu durum, oksijen içeren grupların miktarının azalmasından kaynaklanmaktadır.

Düşük O/C oranına sahip bitümlü kömürler, yüksek O/C oranına sahip genç kömürlerden daha iyi bir akışkanlık özelliği göstermektedirler [7]. Kömür süspansiyonlarının görünür viskozitesindeki büyük artışların, azalan kömür rankı ile meydana geldiği gösterilmiştir [8].

Kömürün tane boyut ve boyut dağılımı, KSK hazırlanmasında en önemli etkenlerden biridir. KSK hazırlanmasında kullanılan kömürün tane boyu en fazla 250 mikron olabilmektedir [9]. KSK'nın hazırlanmasında, genel olarak kömürün tane boyunun %70-80'i 74 mikron altında olması istenir. Ortalama tane boyunun 20-30 mikron olması hedeflenir. Kömür boyut dağılımının, yüksek kabarma oranı verecek şekilde ayarlanması durumunda, diğer boyut dağılımlarına oranla daha düşük viskoziteli KSK elde edilmiştir [10,11].

Dolgu fraksiyonu bir yerde yığınlarda kullanılan kabarma oranına karşılık gelmekte ve taneler arasındaki boşluk oranı olarak tariflenebilir. Küçük tane boyutlu karışımların dolgu fraksiyonu düşük olur. Düşük dolgu fraksiyonuna sahip linyit tozu viskoziteyi arttırdığından KSK'ya uygun değildir. Tane boyu arttıkça dolgu fraksiyonu büyür, taneler arası boşluk artar, düşük viskozite elde edilir. Ancak çökme sorunları ve karışımın yakılması esnasındaki boyut sınırlamaları nedeniyle, tane boyu fazla arttırılamamaktadır. [10,11].

2.1.2. Kimyasal Reaktiflerin Kömür-Su Karışımlarındaki Rolü

KSK hazırlanmasında kimyasal reaktiflerin kullanımı çeşitli nedenlerle zorunludur. KSK yakıtında farklı reaktifler, farklı amaçlar için kullanılmaktadır. Bu reaktifler; dispersanlar, çökmeyi önleyici reaktifler (stabilizörler) ve bazı özel amaçlı reaktiflerden oluşmaktadır. Kömür-su karışımlarında kullanılan reaktifler Tablo 2.1.'de verilmektedir [12]. Kömür-su karışımlarının hazırlanmasında en çok kullanılan reaktifler, dağıtıcılar ve stabilizörlerdir.

1. Dağıtıcılar, kömür tanelerinin birbirlerinden ayrılıp dağılmasını ve su ile temasını sağlamak amacıyla kullanılırlar.

2. Stabilizörler ise, kömür tanelerinin çökmesini önlemek, sabit kalmalarını sağlamak amacıyla kullanılırlar.

1. Dağıtıcılar

Yüksek katı oranlı süspansiyonlar elde edebilmek için, flokülasyonu azaltacak dağıtıcı kimyasal maddeler kullanılmalıdır. Aksi takdirde, kullanımı zor, yüksek

viskoziteli karışımlar oluşur. Dağıtıcı maddeler, kömür tanelerinin dispersiyonunu sağlarken aynı zamanda ıslanmalarınıda sağlamaktadırlar.

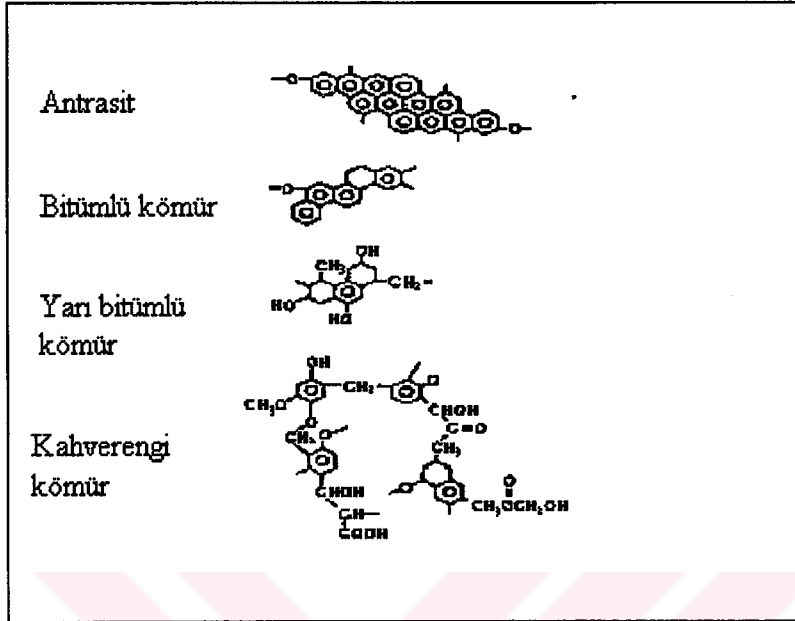
Karışıma ilave edilen dispersanlarla taneler dağılmakta ve viskozite düşürülmektedir. Ancak ortama katılan dispersanların etkileri, kömürleşme derecesine, kömür yüzey gruplarının yapısına, C/H oranı vs. gibi faktörlere bağlı olmaktadır.

Şekil 2.1'den izlendiği gibi, kömürleşme derecesi arttıkça, kömür yüzeyindeki oksijen içeren gruplar (OİFG) azalmaktadır. Bundan yola çıkarak, kömürleşme derecesi yüksek hidrofor kömürlerin yüzeyinde OİFG az olduğundan bu tür kömürlere dispersan adsorbsiyonunun daha fazla oranda olduğu söylenebilir.

Tablo 2.1. Kömür-su karışımlarının hazırlanmasında kullanılan reaktifler.

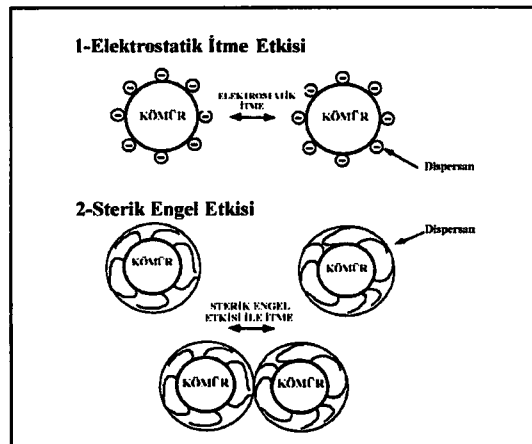
Katkı Maddesi Tipi	Fonksiyonu	Kimyası	Kullanım Oranı (%100aktif madde esasına göre) (k/t kömür)
Islatıcı	Kömür ile suyun tam bir temasını sağlamak ve kömür agregalarının arasındaki ve içindeki kanallardan havayı dışarı çıkarmak.	Düşük molekül ağırlıklı, etoksilatlı yağ alkolleri	0-2
Dağıtıcı	Yaş öğütme işleminde, kömürün öğütülmesine yardımcı olmak ve oluşan tanelerin dağınık bir durumda kalmasını sağlamak	Anyonik(sülfonatlı) polieloktrolitler veya iyonik olmayan (etoksilatlı) dağıtıcılar	5-10
Stabilizör	Kömürün çökmesini ve depolamada seyreltik çökeltilerin oluşumunu engellemek	Yüksek molekül ağırlıklı polietilen glikol, polialkilamidler, doğal polimerler	0-0.5
Köpük Bastırıcı	Hava hareketini önlemek kömür öğütme işleminde düşük karışım viskoziteleri sağlamak	Polisiloksanlar (yağ asidi esterleri ve tuzları karışımı)	0-1.0
Biocide	Karışımların depolanması esnasında, biyolojik bozunmadan dolayı oluşan diğer kimyasal maddeleri yok etmek	Formaldehit, katyonikler	0-0.1

Hidrofil kömürler ise yüzeylerindeki oksijen içeren gruplar dolayısıyla genel olarak küçük değerlerde de olsa negatif yüzey yüküne sahiptirler [13]. Bu tür kömürlerde daha az dispersan ilavesiyle uygun zeta potansiyeline ulaşılabilir.

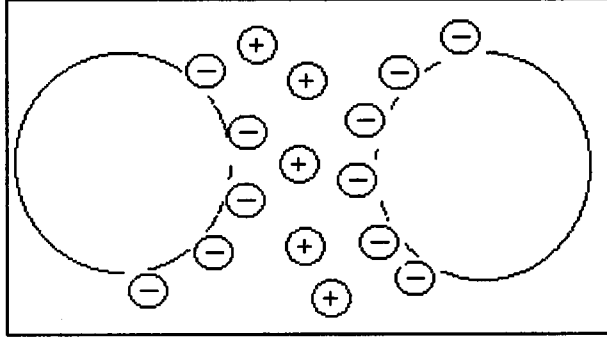


Şekil 2.1. Kömür yapısal modelleri.

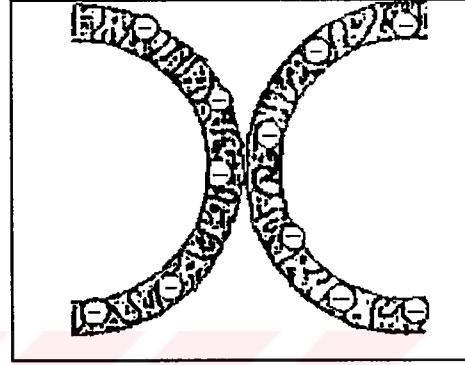
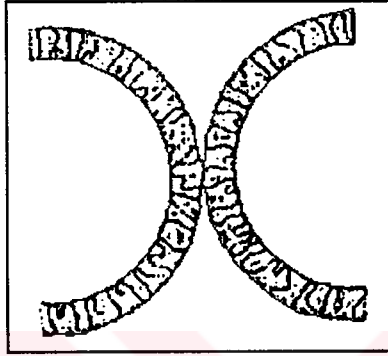
Süspansiyon içerisinde, dispersiyona sebep olan kuvvetler; elektrostatik itme kuvveti ve sterik hindrance (engel) kuvvetleridir. Elektrostatik itme kuvvetleri, özellikle, negatif zeta potansiyeline sahip kömür tanelerinin yüzeyinde oluşan kuvvetler dolayısıyla meydana gelmektedir [14]. Dispersiyon mekanizmasında, elektrostatik itme ve sterik engel kuvvetlerinin etkisi Şekil 2.2 ve 2.3'te verilmektedir.



Şekil 2.2. Dispersiyon mekanizması.



1. Elektrostatik itme kuvveti ile dağılma mekanizması.

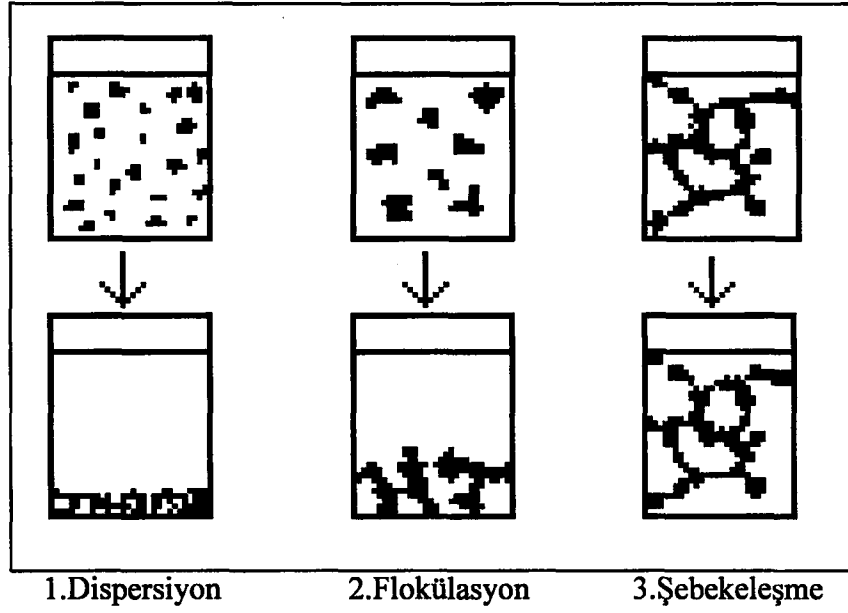


2. Sterik kuvvet ile dağılma. 3. İki kuvvetin beraber olduğu dağılma mekanizması.

Şekil 2.3. Dispersiyon mekanizmasının değişik bir şematik gösterimi.

Şekil 2.3'te, elektrostatik ve sterik kuvvetlerin dispersiyon mekanizmaları görülmektedir. Elektrostatik etki, negatif yüklü tanelerin kömür yüzeyine yerleşip birbirlerini itmeleriyle oluşmaktadır. Sterik etkide ise, taneler hidrofob kısımlardan birbirine temas ederek bir şebekeleşme yaratırlar. Bu iki kuvvetin beraberliği tanelerin askıda kalmasını sağlamaktadır.

Şekil 2.4'te kömür tanelerinin dispersiyon (1), flokülasyon (2) ve şebekeleşme (3) durumlarındaki çökme miktarları karşılaştırılmıştır. Karışım içindeki kömür tanelerinin tamamen dağılması durumunda, viskozite azalmakta fakat tanelerin askıda kalması sağlanamamaktadır. Tanelerin flokülasyon durumunda ise çökme maksimuma ulaşmaktadır. Karışım içerisinde dağılmış tanelerin çökmeye karşı kararlılık göstermesi yani askıda kalabilmelerini temin etmek için tanelerin floklaşması değil şebekeleşmesi gerekmektedir. Bu amaçla stabilizörler kullanılmaktadır [15].



Şekil 2.4. Kömür tanelerinin çökme mekanizmaları.

İyonik ve iyonik olmayan reaktifler dağıtıcı olarak kullanılabilirler.

- İyonik Reaktifler

İyonik tip yüzey aktif maddeler, anyonik ve katyonik olabilmektedir. Büyük miktarda hidrofobik grup içeren iyon, negatif bir yük alarak anyon haline gelir ise, bileşik, anyonik yüzey aktif madde olarak adlandırılır. Bu durumda katyon, sodyum veya potasyum iyonu gibi metalik bir iyondur. Hidrofobik grup içeren iyon, pozitif bir yük alarak katyon haline gelir ise, bileşik, katyonik yüzey aktif madde olarak adlandırılmaktadır. Bu durumda anyon, genellikle klor veya brom iyonudur. Daha çok kullanılan anyonik yüzey aktif maddeler, kömürün hidrofobik kısımlarına hidrofobik alkil grubu vasıtasıyla adsorblanırlar. Tanelerin yüzeyine adsorblanan dağıtıcı maddelerin anyonik yükleriyle oluşan elektrostatik itme kuvvetleriyle, kömür tanelerinin dağılmasını sağlamaktadırlar. Anyonik dağıtıcı kullanılmış olan KSK'daki kömür taneleri negatif olarak yüklenirler.

Anyonik dispersanlara örnek olarak, sodyum, kalsiyum, amonyum lignosülfonatlar ve naftalin formaldehit sülfonatların sodyum, amonyum tuzları verilebilir. Bunlara polielektrolit adı verilir [16]. Polielektrolitler ile sağlanan dispersiyon, elektrostatik ve sterik etkileşimlerin birlikteliğinin bir sonucudur. Elektrostatik etkileşim sonucu taneler dağılırken, sterik etkileşim ile taneler şebekeleşmekte ve çökme

önlenmektedir. Polielektrolitlerin (lignin sülfonatlar veya naftalin sülfonatlar/formaldehit kondensatları) kullanımı, düşük fiyatları ve kolay bulunabilmeleri nedeniyle caziptir. Lignosülfonatın kömür yüzeyine adsorbsiyonu negatif bir zeta potansiyeli oluşturmaktadır. Ancak, karışımın yanma özellikleri açısından ideal değildir. Nötralize edici katyonun sodyum olması nedeniyle, cüruf oluşturma sorunu yaratmaktadırlar. Bu nedenle, alkali metal içermeyen kimyasal katkı maddelerinin kullanılması tercih edilmektedir [16].

- İyonik Olmayan Reaktifler

KSK hazırlanmasında kullanılabilecek diğer bir madde, iyonik olmayan reaktiflerdir. İyonik olmayan reaktifler, molekülün polar (hidrofilik) kısmını içeren etilen ve hidrofobik kısmını içeren bir hidrokarbon zincirinden (alkil veya alkil aril) oluşmaktadır. İyonik olmayan reaktiflerin, KSK'nın hazırlanmasında kullanılması, hafif sıcaklık değişimlerinde gerçekleşen flokülasyon nedeniyle sınırlıdır [17].

2.Stabilizörler

Stabilizör, karışım içinde bir şebekeleşme oluşmasını sağlayarak tanelerin çökmesini önlemek üzere ilave edilmektedir [18]. Dispersanlar, viskoziteyi düşürmekte fakat dağılmış tanelerin askıda kalmalarını sağlayamamaktadırlar [16]. Bu durum, tanelerin şebekeleşmesini sağlayan bir stabilizör kullanılmasıyla önlenmektedir.

Doğal ve sentetik makromoleküllü polimerler, süspansiyonun stabilizasyonunun sağlanması ve çökmeyi önlemek amacıyla kullanılmaktadır. Tanelerin tam olarak bu moleküller tarafından kaplanmaması durumunda, flokülasyon oluşmaktadır. Bu nedenle, makromoleküllü polimerler iyi stabilize edici maddeler olmalarına rağmen, iyi bir dağılım sağlayamazlar. Yüksek molekül ağırlıklı maddeler, süspansiyondaki katıların çökmesinin kontrolünde kullanılmaktadırlar.

En yaygın olarak kullanılan maddeler, selülozik eterler (örneğin, hidroksi etil selüloz), poliakrilamid ve polisakkaridlerdir. Aşırı miktarda polimerin kullanılmasının gerekli olması durumunda, tüm süspansiyonun viskozitesinde bir artış meydana gelmektedir [19].

2.1.3. Kömür-Su Karışımlarının Reolojik Özellikleri

Bingham'a göre reoloji terimi, maddenin deformasyon ve akış durumunu gösterir [20]. Akışkanlar, üzerlerine uygulanan kayma hızına (veya kayma gerilimine) bağlı olarak, çeşitli davranış özellikleri göstermektedir. Akışkanların ne tip bir akış durumu gösterdikleri, yapılan ölçümlerden sonra çizilen, şekil 2.6'daki kayma hızı-kayma gerilimi diyagramından anlaşılabilir. KSK'lar psödoplastik akış özelliği gösterirler [14].

Akış halindeki süspansiyonlarda çeşitli büyüklüklerde olabilen üç tip kuvvet vardır [21].

Birincisi, taneler arası etkileşimlerden kaynaklanan kuvvetlerdir. Bu kuvvetler taneler arasındaki itme – çekme durumunu ortaya belirler. İtme durumu, tane yüzeylerinde aynı elektrostatik yüklerin bulunmasından kaynaklanır. Taneler arası çekme, van der Waals çekiminden veya taneciğin farklı kısımlarındaki zıt yükler arasındaki elektrostatik çekme sonucu meydana gelmektedir. Bu kuvvetlerin bileşkesinin çekim yaratması halinde taneler, floküle olmakta, itme durumunda dağılmaktadırlar.

İkincisi, pülpde mevcut olan Brownian düzensiz kuvvetidir (Brownian randomising force). Brownian kuvveti önemli ölçüde boyuta bağlıdır ve 1 mikronun altındaki tanelerde büyük bir etkiye sahiptir, floklaşmaya neden olur. Floküle olmuş süspansiyonlar kayma gerilimine maruz kaldığında, floklar dönerler (muhtemelen deforme olurlar) ve uygulanan gerilimin yeterince yüksek olması durumunda, başlangıç tane boyuna parçalanırlar.

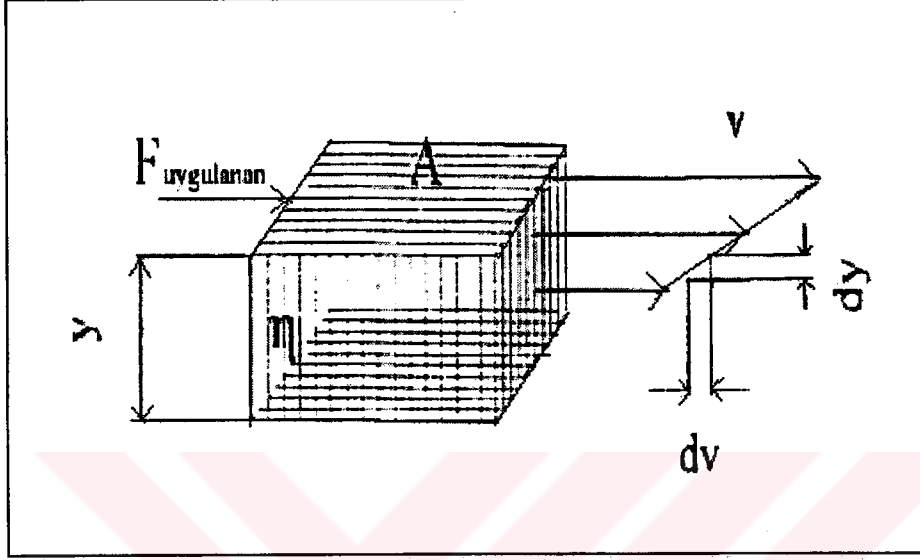
Üçüncüsü, taneler üzerinde etkili olan viskoz kuvvetlerdir. Viskoz kuvvetler, tane ve onu çevreleyen akışkan arasındaki bölgesel hız farkı ile orantılıdır. Koyu süspansiyonlarda, tanelerin birbirlerinin yollarına taşmaları nedeniyle daha büyük direnç meydana gelmekte ve bunun sonucunda daha büyük viskozite oluşmaktadır.

Yukarıda bahsedilen kuvvetlerden herhangi biri, reaktiflerin tanenin yüzeyine adsorbsiyonu ile değiştirilebilmekte ve istenen reolojik özelliklere ulaşılabilir.

Akışkanların reolojisini viskozite, kayma gerilimi, kayma hızı ile belirlenmekte, en önemli parametre viskozite kabul edilmektedir [21].

2.1.3.1. Akışkanlarda Viskozite

Viskozite akışkanın akmaya karşı gösterdiği dirençtir.



Şekil 2.5. Akışkanlarda viskozitenin şematik gösterimi.

Şekil 2.5'te viskozitenin şematik gösteriminde, A cm^2 lik bir alana sahip y cm kalınlığında, içinde n viskoziteye sahip bir akışkan bulunan iki paralel ve düz yüzeyde, yüzeylerden birinin, uygulanan bir F kuvveti ve v hızı ile kendi düzleminde hareket etmesi durumunda, bu kuvvetin şiddeti (laminar akış şartı kabulü ile), akışkanın n viskozitesi, v/y oranı ve A yüzey alanı ile orantılı olacaktır (Şekil 2.5).

F/A oranına, kayma gerilimi ($\tau = F/A$) adı verilir. Kayma gerilimi, akışkanın belirli bir mesafeyi alması için gerekli olan kuvvettir.

dv/dy oranına ise kayma hızı veya kayma oranı ($D = dv/dy$) adı verilir.

Kayma gerilimi, kayma hızı ve viskozite ile orantılıdır. $\tau = n \cdot D$

Böylece viskozitenin ifadesi şu şekli alır; $n = \tau/D$. Viskozite, kayma geriliminin, kayma hızına oranıdır. Viskozite, kayma hızı, sıcaklık, basınç ve kayma işleminin uygulandığı süreden etkilenebilir.

2.1.3.2. Sıvıların Akış Türleri

Sıvılar viskozite açısından Newtoniyen ve Nonnewtoniyen olarak iki tip davranış göstermektedir.

- Newtoniyen Davranış Gösteren Sıvılar

Newtoniyen davranış gösteren sıvıların viskozitesinde zamanla herhangi bir değişiklik meydana gelmemektedir. Newtoniyen akışkanların viskozitesi, sıcaklığın artması ile azalmaktadır [21]. Bu genellemeye uymayan durumlarda vardır (genellikle kimyasal ve yüzey tepkimesi ile ilişkili olarak). Newtoniyen akışkanlardan viskozitesi daha yüksek olanlar, sıcaklığa daha fazla bağımlıdır. Newtoniyen davranım gösteren bir akışkan, sabit sıcaklık ve sabit basınç altında şu özelliklere sahiptir;

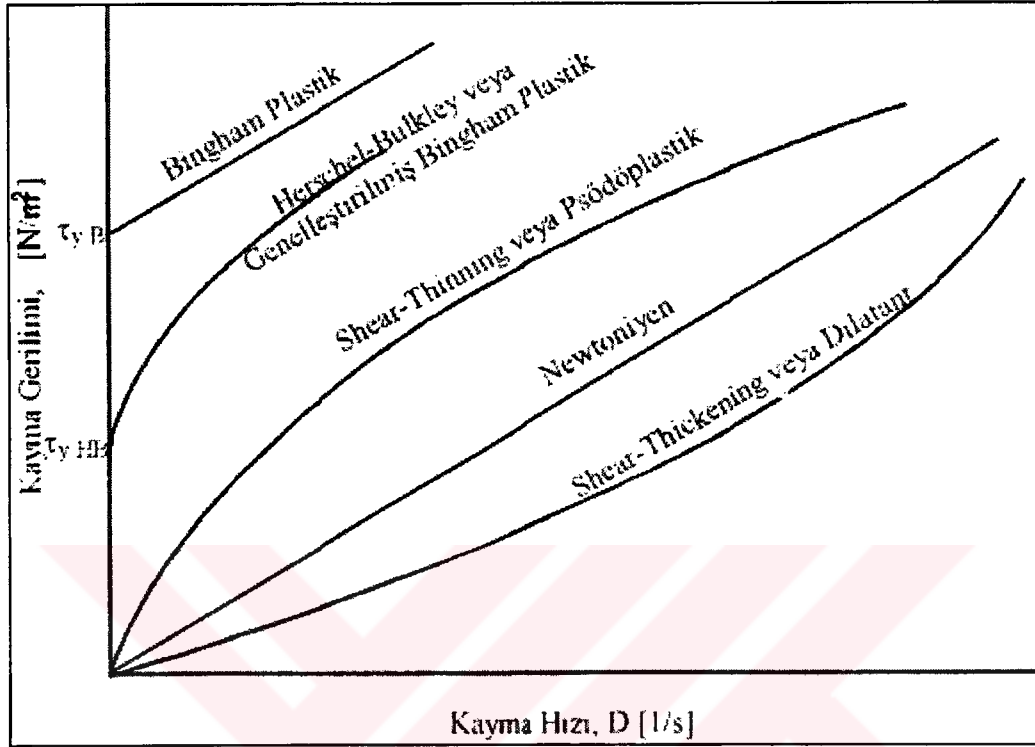
1. Basit kayma akışında oluşan gerilim, iki normal gerilim farkının sıfır olduğu kayma gerilimidir,
2. Viskozite, kayma işlemi devam ederken sabittir ve sıvıdaki gerilim, kayma işleminin kesilmesi durumunda hemen sıfıra iner. Ölçümün 1 hafta veya 1 ay sonra tekrarlanması durumunda aynı değer bulunur, viskozite zaman ile değişmez,
3. Farklı deformasyon durumlarında ölçülen viskoziteler, daima basit bir şekilde birbirleriyle orantılıdır.

Newtoniyen akış gösteren sıvıların kayma hızı-kayma gerilimi diyagramında, viskozite sabittir ve doğru üzerindeki herhangi bir nokta, tüm akış durumunu temsil etmektedir. Su ve gliserin bu tip akışkanlara örnek olarak gösterilebilir.

- Nonnewtoniyen Davranış Gösteren Sıvılar

Nonnewtoniyen davranış gösteren sıvıların viskoziteleri zamanla değişmektedir. Psödoplastik (Shear Thinning), Plastik (Bingham, Casson), Dilatant (Shear Thickening) ve Herschel-Buckley özellik gösterirler (Şekil 2.6).

Artan kayma hızı ile viskozitede azalma eğilimi gösteren akışkanlara, “Psödoplastik” veya “Shear Thinning” davranış gösteren akışkanlar adı verilmektedir. Kömür-su karışımları, konsantre meyve suları, vb. bu tip akış özelliğine sahiptirler.



Şekil 2.6. Kayma gerilimi - Kayma hızı diyagramında akışkan türleri.

Plastik davranış tipi gösteren sıvılar, uygulanan kayma gerilimi belirli bir minimum değerin üzerine çıkmadığı takdirde akmazlar. Bu minimum kayma gerilimi Bingham tarafından yield stress olarak tanımlanmıştır. Floküle olma eğilimi gösteren tanelerden oluşan bir süspansiyonun yield stress değeri daha büyük olmaktadır. Kayma hızının artmasıyla viskozite azalmaktadır [22].

Plastik akış davranımı gösteren maddeler, kendi içinde farklılık gösterebilirler [23].

1. Kayma gerilimi ve kayma hızı arasında bir oransallık gösteren plastik akışkanlara “Bingham” tipi plastik akışkan adı verilmektedir.
2. Herhangi bir oransallık göstermeyen plastik akışkanlara (düz bir doğru yerine eğri oluşturur) “Casson” tipi akışkan adı verilir.

Dilatant sıvıların akış eğrileri, artan kayma hızı ile, kayma gerilimi eksenine konkav bir durum gösterir (Şekil 2.6). Bu tip akışkanlara, shear thickening davranış gösteren akışkanlar adı da verilmekte ve kayma hızı arttıkça, akışa karşı gösterdikleri direnç azalmaktadır [22].

2.2. Kömür-Su Karışımlarının Endüstriyel Uygulamaları

Düşük kömürleşme derecesine sahip olan kömürler diğer kömürlerle karşılaştırıldığında; yüksek nem, uçucu madde ve düşük ısıl değere sahiptirler. Bununla beraber, kendiliğinden yanma problemi vardır. Bundan dolayı, bu tür kömürlerle, hem KSK hazırlanmasında hem de nakliyesinde zorluklar yaşanmaktadır.

KSK'larında kullanılmak üzere bu tür kömürlere iyileştirme (upgrading) işlemleri uygulanmaktadır. Başvurulan iyileştirme metodları; sıcak hava kurutması (HD:Hot Air Drying), buhar kurutması (stream drying), sıcak su kurutması (HWD:Hot Water Drying) gibi iyileştirme metodlarıdır. Bu yöntemlerin dışında hidrotermal ve mekanik kurutmanın birlikte uygulandığı hidrotermal-mekanik kurutma (HMD) yöntemleri uygulanmaktadır. Bu yöntemlerde esas olarak kömürlerin neminin giderilmesi ve bu esnada kömür içindeki bitümün sıcaklık etkisi ile dışa doğru ilerleyerek yüzeyleri kaplaması ve mikro gözenekleri doldurması söz konusudur [19,24,25,26,27].

İnce boyutlu kömürün zenginleştirilmesinde; Reichert-Wickers spiralleri, Deister sarsıntılı masası, flotasyon (Kolon, Klasik, Jet), selektif aglomerasyon, düşük sıcaklık karbonizasyonu+manyetik ayırma yöntemleri uygulanmaktadır [12,28,29,30].

2.2.1. Kömür-Su Karışımının Yakılması

KSK yakıtlarının kullanılması ile petrole olan bağımlılığın azaltılması hedeflenmektedir. Bu tip yakıtlar geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bunlar; Buhar üretmek üzere endüstriyel boylerlerde veya elektrik santrallerindeki yakıcılarda yakılması, çelik endüstrisinde yüksek fırınlarda yakılması, çimento üretiminde çimento fırınında yakılması ve ev yada endüstriyel ısınma amacıyla fırınlarda

yakılması şeklinde özetlenebilir. KSK yakıtlarında istenen özellikler tablo 2.2’de verilmiştir.

Tablo 2.2. KSK yakıtlarında hedeflenen özellikler.

Katı İçeriği (% ağırlıkça)	70
Üst Isıl Değer (kcal/kg)	5500
Viskozite (cp)	200
Kararlılık (hafta)	12
pH	7
Kükürt, % (Kömürde)	0,7
Sabit Karbon, %(Kömürde)	41,3
Uçucu Madde, %(Kömürde)	25,2
Kül, %(Kömürde)	3,5

Bu yakıtın en önemli avantajı, yeni bir yakıcı tipi gerektirmeksizin sıvı yakıt yakma sistemlerinde bir takım yeni düzenlemeler yapıldıktan sonra yakılabilmektedir. Bu durum önemli ölçüde tasarruf sağlamaktadır.

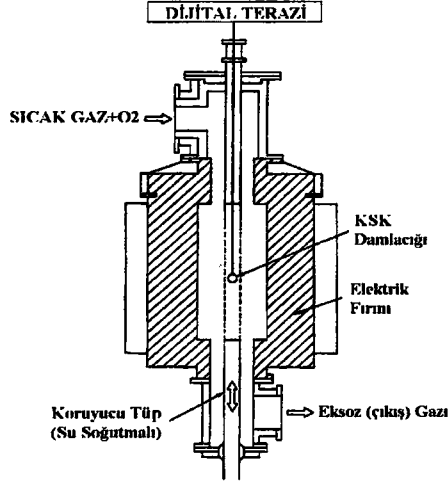
Karışımın yanma mekanizması, laboratuvar düzeyinde tek bir yakıt damlasının gelişimin gözlenmesi ile saptanabilmektedir. Yaklaşık 1-2 mm çapındaki yakıt damlacığı farklı test cihazlarında yakılmaktadır.

Şekil 2.7’de bu cihazlardan birinin şematik görünümü verilmektedir. Cihaz içerisinde platin bir kablo üzerinde askıda tutulan damlacığın yanmasıyla ortaya çıkan ağırlık kaybı, cihazın üst kısmında bulunan mikrobalance ile belirlenmektedir.

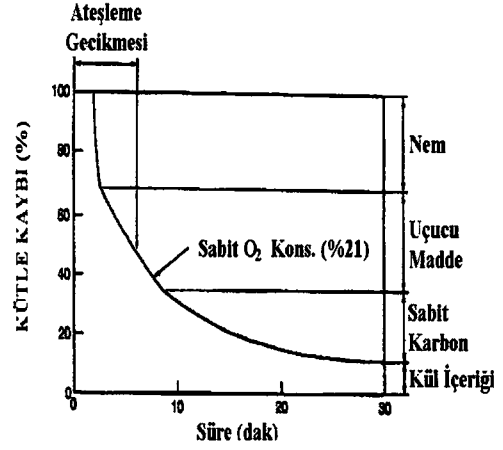
Damlacığın yakılması ile ilgili yapılan çalışmalarla kömür-su karışımının yanma safhaları ortaya konulmuş ve şekil 2.8’de verilmiştir.

Karışımın yanma sürecinde ilk olarak karışımın taşıdığı nem buharlaşmakta ve bunu yükselen sıcaklıkla kömürün içerdiği uçucuların yayılımı ve char yanması takip etmektedir. Karışımın yanma gecikmesi, toz kömürün yanma gecikme süresinden çok daha uzun olduğundan alev tutucu yapısı buna uygun olarak geliştirilmiştir.

Karışım damlacığının yanması; buharlaşabilen içeriklerin ve katı yüzeylerinin yanması olmak üzere, iki safhada gerçekleşmektedir. KSK yakıtı, fuel-oil'e benzer kararsız bir yanma davranımını gösterir.



Şekil 2.7. Damlacığın Yakıldığı Test Cihazı



Şekil 2.8. KSK'nın Yanma Hızı

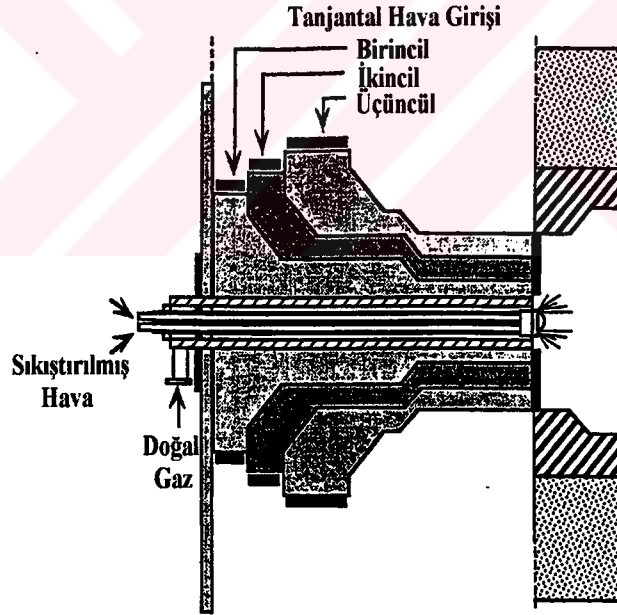
KSK'nın yanma özelliklerini, karışımın atomize edilebilme (püskürtme) kolaylığı belirlemektedir. KSK'nın yakılması durumunda, aglomere olmuş kömür tanelerinin yanması, toplam yanma sürecinin büyük bir kısmını oluşturur.

Karışımların yanma davranışını belirlerken, kömürün yanma özellikleri dikkate alınmalıdır. Yakıtın tutuşma ve alevin sönme özellikleri; uçucu madde içeriği, uçucu maddenin ısı değeri ve alevlenme indeksi ile belirlenebilmektedir. Alevlenme indeksi, kömürün tutuşma özelliğinin doğrudan bir ölçüsüdür. Bu indeks kuru ve toz haldeki bir kömürün oksijende tutuştuğu sıcaklığı göstermektedir. Genellikle alevlenme sıcaklığı düştükçe tutuşma kolaylaşmaktadır [14,15]. KSK büyük miktarda su içerdiğinden, yakıtın sağlayacağı enerji miktarı olumsuz etkilenecektir. Ancak %25-30 su içeriğine sahip olan karışımlarda, su dolayısıyla açığa çıkan enerji kaybı, toplam enerjinin %3-4'ü kadar olmaktadır.

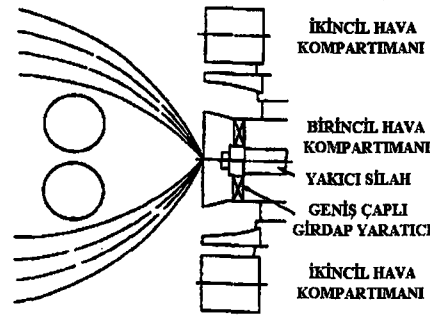
Kömür tipi, tane boyu, kömür/su oranı, stokiometrik yakma oranı ve ikincil hava girdap sayısı, KSK'nın yanma özelliklerini (karbon yanması ve azot oksitlerin oluşumu gibi) önemli ölçüde etkiler. Kömürün tipi ve tane boyu, yakıtın, hem tutuşma hem de yanma özelliklerini etkilemektedir. Kömür tanelerinin aglomere olma eğilimleri, tam yanmanın gerçekleşmesini etkilemektedir. Kekleşmeyen kömür

taneleri, ısınma esnasında aglomere olması nedeniyle, genç kömür karışımları yüksek verimle yanabilmektedir. Yanma verimi, kömürün tane boyunun küçültülmesi ile yükselmektedir. Ancak, baca gazındaki NO_x emisyonu kömür tanelerinin küçülmesiyle artmaktadır. Etkin bir KSK yanması için, ikincil hava bir ön ısıtma işlemine tabi tutulur (genellikle 120-200 °C). Bu işlemin alternatifi, küçük miktarda (%3-4'lük bir enerji) gaz veya petrol türevi bir yakıtın, karışımla birlikte yakılmasıdır. KSK petrol gibi spreylenmeli bir yakıttır. KSK'larda kullanılan yakıcı; yakıtın spreyleneceği için bir atomizör, ateşleme noktası, yanma için gerekli havayı içine alan hava kutusu ve nozulundan ibarettir.

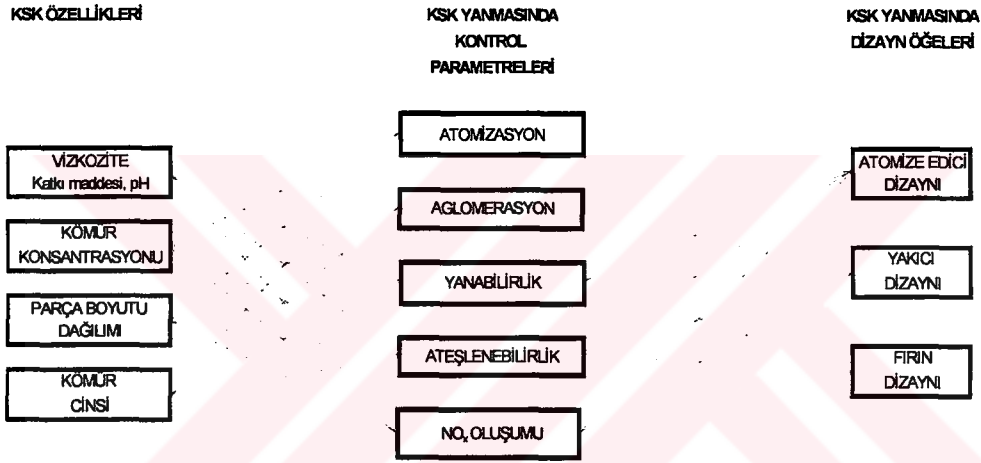
Şekil 2.9 ve Şekil 2.10'da KSK yakılması için dizayn edilmiş yakıcı örnekleri verilmektedir. KSK yanması, kömür özellikleri yanında yakıcı ve atomizöre bağlı olarak bir çok etkili faktörün kontrolünde gerçekleşmektedir. Bu faktörler Şekil 2.11'de verilmektedir.



Şekil 2.9. Tipik bir KSK yakıcısı.



Şekil 2.10. Tipik bir KSK yakıcısı.



Şekil 2.11. KSK Yanmasında Etkili Olan Kontrol Faktörleri

2.2.1.1. Kömür-Su Karışımının Atomizasyonu

Atomizasyon işlemi KSK'nın verimli yanmasında oldukça önemlidir. Atomizasyonun kalitesi, tutuşma kararlılığı ile karbonun yanmasını önemli ölçüde etkilemektedir. KSK'nın atomizasyon işleminin anlaşılması, bu yakıtın yanmasının kontrolü, önceden hesaplanması ve modellenmesi açısından önemlidir. KSK'nın atomize edilebilirliğini belirleyen başlıca değişkenler, karışımdaki kömürün tane boyut ve dağılımı, kömürün derişimi, yüzey gerilimi ve kullanılan katkı maddelerinin yapı ve derişimleridir.

KSK yakıtındaki kömür tanelerinin aglomeratlar halinde yanması nedeniyle, atomizasyon kalitesi, yanma verimini belirleyen en önemli etken olarak

tanımlanmaktadır [17]. Atomize edilen damla boyu ile karbon dönüşümü arasında ters bir ilişki vardır. Atomizasyondaki damla boyut dağılımı, tutuşma gecikme süresini ve yanma verimini etkilemektedir. Küçük damlacıklar sadece aglomeratların boyunu sınırlamayıp, aynı zamanda belirli bir miktar yakıt için daha yüksek bir yüzey/hacim oranında sağlamaktadır. Ayrıca, daha ince bir spre, alev kararlılığını sağlamakta ve muhtemelen NO oluşumunu azaltacak şekilde, yakıt tutuşmasının atomizör çıkışına yakın bir bölgede oluşmasına yol açmaktadır. Yakıtın atomizasyonu, yüksek kayma hızlarındaki yakıtın reolojisine ve katkı maddelerine bağlıdır.

Atomize edici ortam/yakıt kütleli akış oranı, atomizasyonun kalitesini etkileyen önemli değişkenlerden biridir. Endüstriyel yakıcılarda atomize edici ortam olarak su buharının tercih edilmesine rağmen, laboratuvar ölçekli çalışmalarda, kullanışlı olması nedeniyle hava tercih edilmektedir.

Kullanılacak atomizasyon tipi de oldukça önemlidir. Çeşitli bozundurucu (disruptive) veya ikincil atomizasyon teknikleri (ısı, kimyasal ve ısı-mekanik yardımcı yaklaşımlar) incelenmektedir. Isıl atomizasyon, basınç altında KSK'nın suyun kaynama noktasının üzerindeki bir sıcaklığa kadar ön ısıtılması işlemidir. Ancak bu yöntem, artan sıcaklık ile hızlı bir viskozite artışı gösteren KSK'ları için uygulanamaz.

Kimyasal madde katkılı atomizasyon, KSK'na ısı olarak kararlı olmayan, suda çözünebilir bir maddenin ilave edilmesiyle gerçekleştirilir. Isıl-mekanik yardımcı atomizasyon, KSK yakıtı içinde yüksek buhar basınçlı bir maddenin çözeltilsinin varolması halinde sözkonusudur. Yanma açısından, bir aleve KSK girişini sağlamanın en uygun yolu, her bir kömür taneciğinin birbirinden ayrılacağı disruptive atomizasyon işlemidir [31]. Buhar atomizasyonu, büyük boyutlarda hava atomizasyonuna göre daha kullanışlı ve ekonomik olması nedeniyle büyük bir öneme sahiptir.

İstenilen atomizasyon tip ve kalitesine ulaşmak için, kullanılacak atomizör tipi büyük bir öneme sahiptir. Atomizörler çeşitli sınıflara ayrılırlar; içten, dıştan, Y-jet, T-jet, döner tip ve diğerleri. Birçok farklı atomizör tasarımı mevcut olmasına rağmen,

alışmalar, atomize edicinin hava olduğu, iki akışkanlı atomizör tipleri üzerinde yoğunlaşmaktadır.

İyi bir atomizasyon kalitesine ulaşmak için, atomizör tasarımınn geliştirilmesi ve yüksek hava/yakıt oranının kullanılması söz konusudur. Ancak bu yaklaşımların etkinliği, zamana bağlıdır. Çünkü, spreyin kalitesi, atomizörün aşınmasıyla azalır. İyi bir ticari KSK atomizrnn sahip olması gereken özellikler; 300 mikrondan büyük boyutlu damla üretmemeli, düşük ortalama çaplı bir sprey üretmeli, düşük aşınma hızına ve düşük atomize edici hava/yakıt oranına sahip olmalıdır [32].

Atomizrdeki aşınma, yakıttaki mineral madde tanelerinin sertliğinden kaynaklandığından, kömürün kaynağına ve uygulanan temizleme yönteminin etkinliğine bağlıdır. Ticari açıdan ekonomik olan bir atomizör, en az 1000 saat süreyle kullanıldığında, sprey kalitesinde herhangi bir bozulma yaratmamalıdır [17].

2.2.1.2 Kömür-Su Karışımını Yakma Sistemleri

KSK yakma sisteminin tasarımı, hazırlanan karışımın özellikleriyle doğrudan ilişkilidir. Uygun bir yakma sisteminin seçilebilmesi için, yakıtın viskozitesi ile kömürün tane boyu belirtilmelidir.

- Akışkan Yataklı Yakma Sistemi

Akışkan yatak, herhangi bir viskozite sınırlaması getirmemekte ve KSK yakıtlarının yakılmasında en uygun sistemlerden biri olarak göz önüne alınmaktadır [33]. Akışkan yatakta yakma ile ilgili işletme sorunlarından biri, katı yakıt besleme sistemidir [34]. KSK'nın akışkan yatakta yakılmasıyla ilgili olarak yapılan çalışmalarda, yakıcının işletilmesine yönelik çok önemli gelişmeler sağlanmıştırdır [33,35,36,37]. Bunlar;

1. Yatak yükseklik kontrol ve boşaltım cihazlarına duyulan gerekliliği ortadan kaldıracak şekilde, büyük boyutlu kl tanelerinin sistemi terketmesindeki azalma,
2. Yatak sıcaklık kontrolnde içeren kararlı işletme koşulları,
3. Yakıt depolama kolaylığı,
4. Ateşleme hızlarında artış,

5. Kül ve sorbentin toplanması ile ilgili problemlerdeki azalmadır.

KSK'nın aglomerasyonu yatak malzemesinin boyunda bir artışa neden olur ve akışkanlaşma kalitesini bozar, sonuçta yanma tamamen kesilebilir. Bunu önlemek için;

1. Büyük aglomeratların akışkan yatağın alt kısmında birikmesini önlemek için yoğun silikon kumu kullanmak,
2. Yoğun yatak malzemesinin tüketimini azaltmak için taşmanın engellenmesi,
3. Yığın besleme teknolojisinin sisteme uyarlanmasıdır.

- Boylerde Kömür-Su Karışımının Yakılması

KSK'nın boyler yakıtı olarak kullanılması, karışımın ticari ölçekte kullanım alanını artırması bakımından önemlidir. Mevcut fuel-oil yakan boylerlerde bazı düzenlemeler yapılarak, yakma sistemlerinin fuel-oil'den kömüre dönüştürülmesi kolayca sağlanabilmektedir.

KSK'nın boylerde yakılmasını etkileyen önemli problem, boylere inorganik madde ve kükürt giriştir. Çimento, asfalt fırınlarında ve akışkan yataklı kurutucular gibi KSK uygulamalarında kömürdeki inorganik madde miktarı fazla önemli değildir. Ancak, cüruf oluşumu ve korozyon etkileri nedeniyle, kömürün kül ve kükürt içeriği önem kazanmaktadır (tablo 2.3).

Tablo 2.3. Boyler yakıcısının kül özellikleri.

Boyer Tipi	Kül (%)
Kömüre göre tasarlanmış boyler	5-7
Çok kül bırakan fuel-oil'e göre tasarlanmış boyler	2-3
Az kül bırakan fuel-oil'e göre tasarlanmış boyler	0,5

Fuel-oil ateşlemeli boylerlerin KSK yakacak şekilde düzenlenmesi, muhtemelen ünitenin veriminin düşmesi sorununuda beraberinde getirecektir. Bunun nedenleri;

1. Kül birikimi,
2. Su buharlaşmasıyla artan gaz akış hızı nedeniyle yüzeylerdeki aşınma,
3. Kömürün uçucu madde kaybı nedeniyle olan tutuşma gecikmesi,
4. Kömür tanelerinin aglomerasyonu,
5. Tanelerin yavaş yanması,
6. Daha fazla oksijen ihtiyacıdır [38].

Isı transfer yüzeylerinin aşınması, dönüştürme işleminde önemli bir sorun olabilmektedir. Kömür ateşlemeli bir boylerdeki tüp boşlukları, aşınmayı en aza indirmek için daha geniş olmalıdır. Bu nedenle, fuel-oil ateşlemeli bir boylerde KSK yakılması durumunda, ateşleme hızlarının daha düşük olması ve bazı tüplerin uzaklaştırılmasının gerekmesi nedeniyle, sistemde bir verim düşüşü olacaktır. Verim düşüşünü ortadan kaldırmak için yapılması gerekenler şunlardır;

1. Mevcut kömürden daha fazla uçucu madde içeren bir kömürün kullanılması ve/veya inorganik madde içeriğinin azaltılması,
2. Uçucu kül boyunu küçültmek için kömürün çok ince öğütülmesi,
3. Bir başka yakıt ile birlikte yakılması,
4. Külü az aşındırıcı özelliğe sahip kömürlerin kullanılması,
5. KSK'nın atomizasyonunun geliştirilmesi,
6. Kurum üfleyicilerin ve yüzeylerden cüruf uzaklaştırıcıların sisteme dahil edilmesi,
7. Yakma havasının ön ısıtılması ve yakma havasındaki oksijenin zenginleştirilmesi.

Boylerdeki değişiklik, temel olarak fuel-oil yakıcının uzaklaştırılması ve yerine KSK veya ağır fuel-oili verimli bir şekilde yakabilecek yeni bir yakıcının yerleştirilmesidir

[39]. Dönüştürme işleminde en büyük harcama, alt kısımda birikecek olan külün uzaklaştırılması için, fırının alt kısım cidarlarının dikleştirilmesi için gerekmektedir. Dönüştürme ayrıca, kurum üfleyicilerin, cüruf uzaklaştırıcıların ve uçucu külün uzaklaştırılması için gerekli sistemlerin ilavesini de içermektedir. Tüplerin değiştirilmesi ve baca gazından kükürt giderilmesi, kükürt yayılım standartlarına uyulabilmesi için gerekebilir.

Genel olarak, KSK yakıtının, petrol fiyatının 20 \$ / varil olması halinde ekonomik açıdan 6 numaralı fuel-oil yerine kullanılabileceği belirtilmektedir. Boylerdeki verimin azalmasını önlemeye yönelik teknolojik gelişmelerle birlikte petrol fiyatlarındaki artış, KSK'nı cazip bir alternatif yakıt durumuna getirecektir [17,40].

2.2.2. Kömür-Su Karışımlarının Kullanım Alanları

Kömür-su karışımları, çok geniş alanda kullanılabilecek bir yakıt olmakla birlikte, her farklı kullanım alanı için belirli özelliklere sahip olması gerekmektedir. KSK yakıtının kullanım alanları ve gerekli olan özellikleri Tablo 2.4'te verilmiştir.

Tablo 2.4. Kömür-su karışımlarının Kullanım Alanları

Kullanım Alanı	Kullanım Stratejisi	Gerekli olan Özellikler
Endüstriyel kuruluşlar Bölgesel ısıtma Seralar için elektrik veya ısı üretimi	- Merkezi bir yerde KSK üretimi - Kara ve deniz yoluyla dağıtım - Tüketim alanında depolama ve yakma	- Ağırlıkça % 70 kömür yükleme - Statik ve dinamik şartlarda, yeterli bir süre çökmeden depolanabilmesi - Verimli yanma özelliği - Çevre açısından uygunluk
Endüstriyel kuruluşlar Güç santralleri	- Kömür üretim bölgesinde KSK hazırlama - Boru hattı ile dağıtım - Ulaştırılan yerde depolama ve yakma	- Verimli bir yanmayı sağlayacak ölçüde kömür yükleme - Verimli yanma özelliği - Çevre açısından uygunluk
Çelik Endüstrisi	Yüksek fırın yakıtına katkı	- Yüksek kömür yükleme - Dinamik kararlılık, minimum depolama kararlılığı
Kömür sıvılaştırma/gazlaştırma	Kömür karışımları	- Yüksek kömür yükleme - Az da olsa dinamik kararlılık
Yakıt	Dizel motoru yakıtı	- Yüksek kömür yükleme - Küçük tane boyu ve yüksek kömür yükleme durumunda iyi bir reoloji - Sorunsuz yanma - Külsüz karışımlar

KSK yakıtının fuel-oil'in yerine kullanılabilmesi amacıyla çeşitli ülkelerde ticari ölçekli çalışmalar gerçekleştirilmiştir [16].

Amerika Birleşik Devletlerinde, 1985 yılında, B&W ve Ashland Oil Co., B&W'nun Barberton'daki nükleer donanım biriminde bir deneme gerçekleştirmişlerdir. Boyler, 0.80 MPa basınçta 8.2 kg/s doygun buhar üretilecek şekilde işletilmiş ve iki ısıtma döneminde 2153 m³ karışım yakılmıştır.

US Fluidcarbon Inc., 75 MW'lık kömür ateşlemeli bir boylerde KSK'nın yakılması denemeleri için, Güney Carolaina elektrik ve gaz işletmesine gerekli KSK'ını sağlamıştır. Buradaki amaç, uzun dönemli yakıt üretiminin denenmesi ve yakıt kullanım ve yanmasında deneyim kazanmak olmuştur. Karışım öngörüldüğü şekilde sağlanmış ve boyler başarılı bir şekilde işletilmiştir.

KSK, Valleydale Packers Inc. tarafından Bristol'da iki hafta süre ile 8,2 kg/s kapasiteli bir buhar boylerinde denenmek üzere yakılmıştır. Boylerdeki verim düşüşü % 50-90 arasında olmuştur, ancak mühendislik çalışmaları, atomizör kapasite artışı ve girdap şiddetinin artışı ile verim azalışının %25 ile sınırlanabileceği görülmüştür.

Yaklaşık 1150 m³ KSK, US Fluidcarbon Inc. tarafından 8.5 kg/s kapasiteli bir buhar boylerinde yakılmak üzere Greenville'e gemi ile taşınmış ve burada doğal gaz ile birlikte yakılmıştır. Bu program Mayıs 1985'te başlamış ve Ocak 1986 yılında tamamlanmıştır.

Kanada Cement Lefarge Ltd., 1984 ve 1985 yıllarında çimento üretiminde kullanılan iki döner fırını KSK yakacak şekile dönüştürmüş, üretim günümüzde devam etmektedir.

Kanada demir cevheri işletmesi 1984 yılında peletleştirme amacıyla kullanılan fuel-oil ateşlemeli yakma sisteminde KSK denenmiş, bir peletleştirme fırını KSK yakacak hale getirmiş, verim kaybı gözlenmemiştir.

İsviçre'de, Svenska Fluidcarbon AB., iki adet 10 MW kapasiteli boyler ve bir 6 MW kapasiteli boyleri KSK ile kullanmıştır. Fe-Ni pilleri üreticisi olan Osbarshamn' daki Sabnaife fabrikasının, iki alev borulu kazanında (herbiri 1,2 Mpa'da 2,5 kg/s doygun buhar kapasiteli) KSK kullanılmaktadır.

Japonya, 1973 yılındaki petrol krizinden sonra, petrol tüketimini azaltmak üzere KSK kullanımına önem vermiştir. Tokyo Electric Power Co., Tokohu electric power, Mitsubishi Heavy Industries ve Jabon Joint power co. Ltd., Nakoso güç istasyonundaki 1, 2, ve 4 nolu ünitelerinde KSK yakılmıştır. 100 MW kapasiteye kadar uygunluğu görülmüş ve daha büyük kapasiteli ünitelere (1000-6000 MW) geçilmiştir. Yaklaşık 61800 ton KSK, 3200 saat süreyle yakılmış, fuel-oil'den farkının olmadığı tesbit edilmiştir.

Japon-Çin ortak tesisi Yanri, yılda 250.000 ton KSK hazırlamaktadır. Tankerlerle Japonya Relay terminaline, oradanda kullanılacağı bölgelere taşınmaktadır.

Ayrıca, İtalya, İngiltere ve Çin'de de KSK'nın başarılı ticari denemeleri vardır [16,41].



3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneysel çalışmalar, numunelerin özelliklerini, KSK üzerinde viskozite ölçümlerini, dolgu fraksiyonu ve çökelme indeksi deneylerini ve sonuçlarını kapsamaktadır.

3.1. Deneylere Esas Numuneler

Deneylerde, Sibirya'dan ithal edilen ve ülkemizde satışa sunulan Sibirya bölgesi kömürü, T.K.İ. Güney Ege Linyitleri İşletmesi üretimi Soma linyiti ve İstanbul-Ağaçlı bölgesi linyiti kullanılmıştır.

3.2. Numunelerin Özellikleri

Numunelerin kimyasal özelliklerinin yanı sıra, KSK için önemli olan özgül yüzey alanı ve porozite oranı ölçülmüştür. Ayrıca, kömürlerin yüzey elektrik yükü reaktifli ve reaktifsiz ölçülmüştür.

Tablo 3.1. Kömürlerin BET tekniği ile ölçülen özgül yüzey alanı ve porozite değerleri.

Kömür	Ort.Tane Boyutu,mikron	Özgül Yüzey Alanı,m ² /gr	Porozite, %
Sibirya	19	0,355	9
	35	0,325	9,2
	50	0,263	8,7
Soma	19	0,418	12,7
	35	0,382	11,8
	50	0,343	12,2
İstanbul	19	0,638	19,1
	35	0,56	18,3
	50	0,483	20,5

Deneylerde kullanılan üç farklı kömürün çeşitli ortalama tane boylarındaki örneklerinde BET tekniği ile, özgül yüzey alanı ve porozite ölçümleri yapılmıştır. Tablo 3.1'den izleneceği üzere porozitesi en yüksek kömür İstanbul-Ağaçlı kömürüdür. Sibirya kömürünün porozite değeri hemen hemen İstanbul kömürünün yarısı değerindedir. Kömürlerin kuru baza göre standart ve elementel analiz sonuçları tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.2. Kömürlerin kuru baza göre standart ve elementel analiz değerleri

	Sibirya	Soma	İstanbul Ağaçlı
Kül, %	6,53	7,58	14,43
Toplam Kükürt, %	0,42	0,89	0,93
Uçucu Madde, %	22,35	41,1	37,5
Sabit karbon, %	71,12	51,32	48
Yüzey Nemi, %	4,1	12,6	18,9
Üstısıldeğer(Kcal/kg)	7600	6334	5120
Oksidasyon Derecesi*	0,0125	0,0202	0,0303
C, %	76,5	56,45	52,3
H, %	4,73	4,95	5,1
O, %	10,5	11,8	15,53
N, %	1,48	1,4	1,3
S, %	0,4	0,9	0,95
Piritik S, %	0,24	0,45	0,38
O/H	2,22	2,38	3,05
C/H	16,17	11,40	12,61

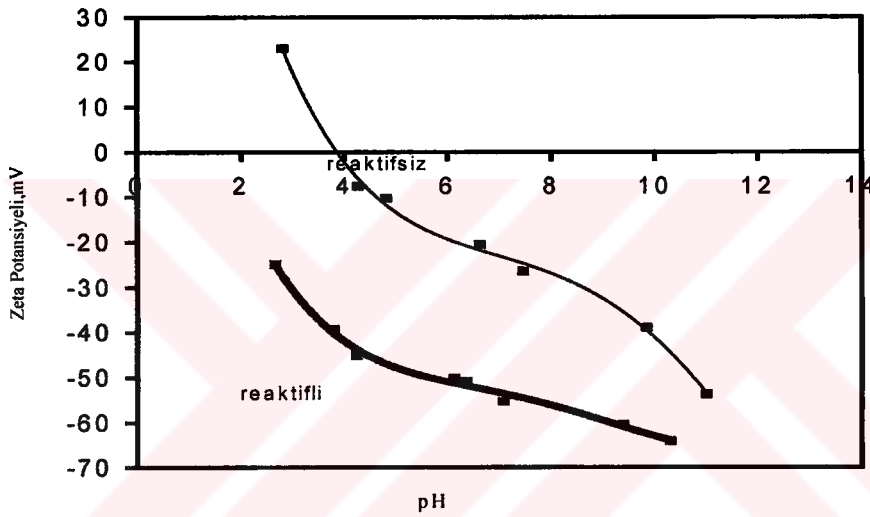
*Oksidasyon derecesi = $(\%O + \%N + \%S - \%H) / (8 \cdot \%C)$

Analiz sonuçlarına göre, özgül yüzey alanı ve porozite kömürün kömürleşme derecesiyle yakından ilgilidir. Kömürleşme derecesi azaldıkça kömürün hem özgül yüzey alanı hem de porozite oranı artmaktadır.

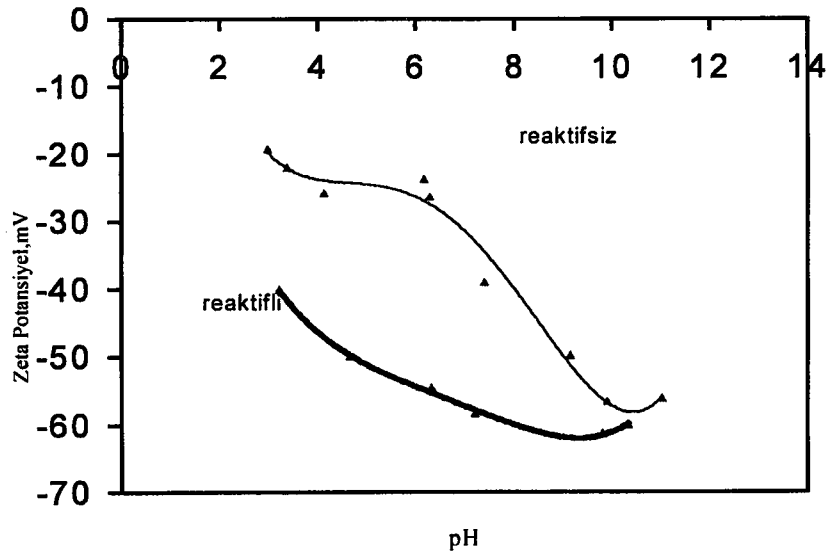
3.2.1. Deney Numunelerinin Yüzey Özellikleri

Genellikle, değişik pH'larda kömür tanelerinin yüzey yükleri negatiftir. Kömür-su karışımlarında maksimum dispersan adsorbsiyonu istendiğinden tanelerin yüzey yükü ne kadar fazla negatif olursa taneler birbirlerini o kadar iteceklerdir. Şimdiye kadar yapılan çalışmalara göre, ideali -60 mV yüzey yükü seviyesidir [41].

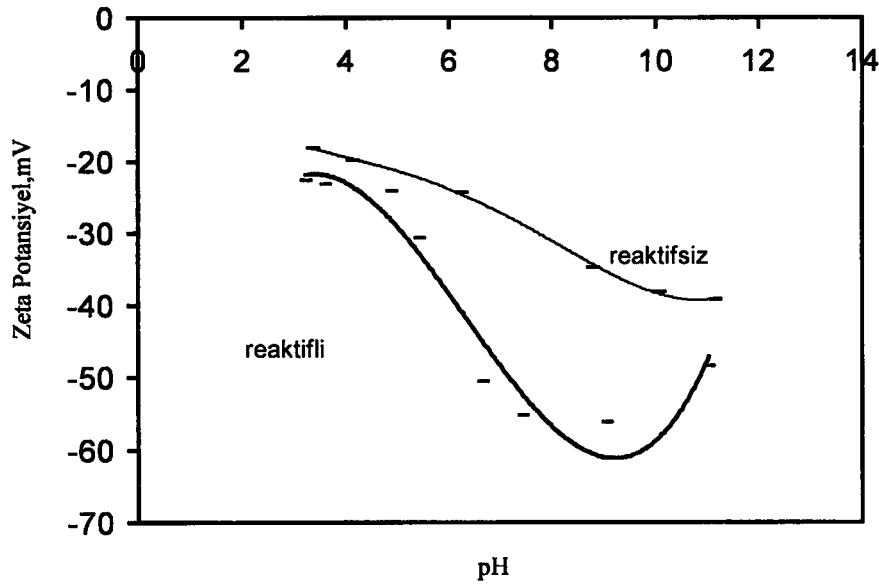
Deneyler 0,1 gram kömür numunesi üzerinde değişik pH'larda yüzey yükü ölçülmesiyle gerçekleştirilmiştir. Üç kömürün zeta potansiyeli ölçümleri reaktif ve reaktif (50 ppm'lik 90 cc PSS + 50 ppm'lik 10 cc CMC karışımı) ilavesiyle yapılmıştır. Deney sonuçları Şekil 3.1, 3.2, 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.1. Sibirya kömürünün reaktifli (PSS+CMC) ve reaktifsiz yapılan zeta potansiyeli ölçüm sonuçları.

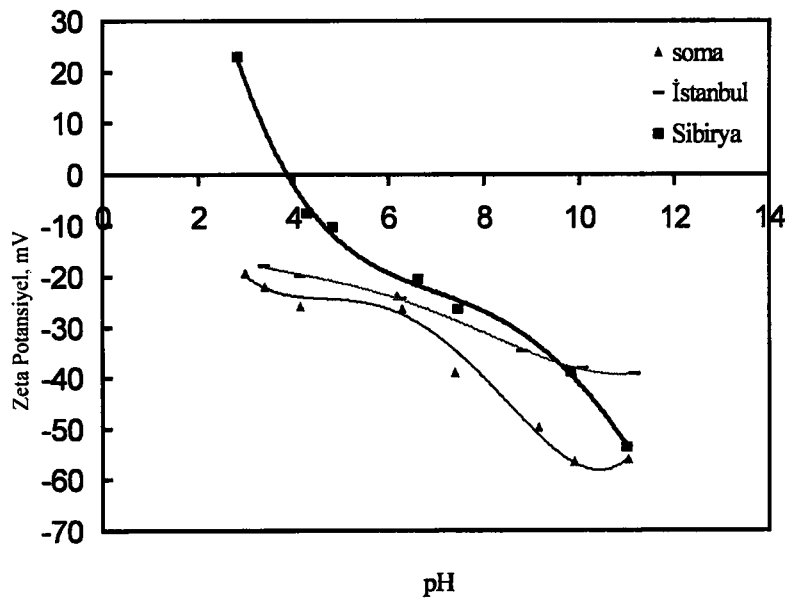


Şekil 3.2. Soma kömürünün reaktifli (PSS+CMC) ve reaktifsiz yapılan zeta potansiyeli ölçüm sonuçları.



Şekil 3.3. İstanbul kömürünün reaktifli (PSS+CMC) ve reaktifsiz yapılan zeta potansiyeli ölçüm sonuçları.

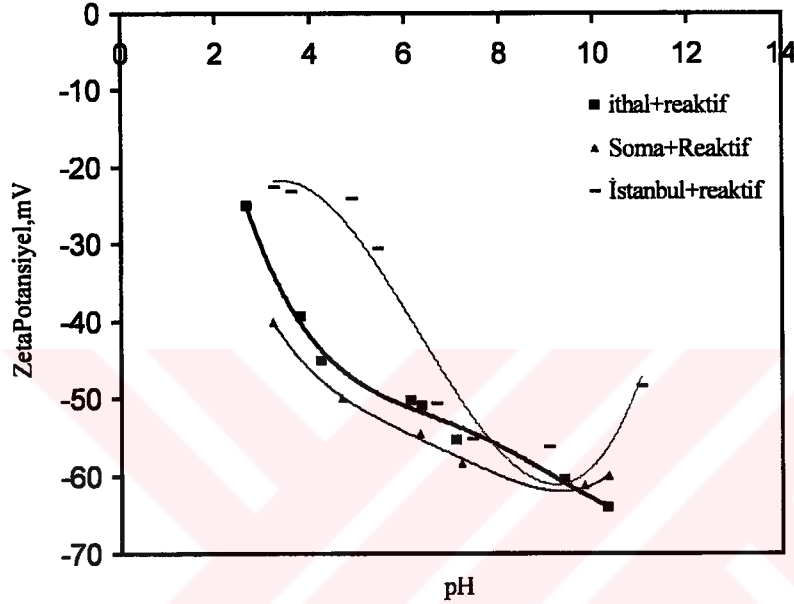
Her bir kömür numunesi üzerinde yapılan zeta potansiyeli ölçümlerinde, kömürleşme derecesi daha düşük olan İstanbul bölgesi ve Soma bölgesi kömürlerinin yüzey yüklerinin, geniş bir pH aralığında negatif yüklü olduğu, Sibiry kömürünün ise pH 4 civarı yüzey yükünün nötr olduğu tesbit edilmiştir.



Şekil 3.4. Üç kömürün reaktifsiz yapılan zeta potansiyelleri ölçümleri.

Şekil 3.4 ve 3.5'te her üç kömür numunesine ait zetametre ölçümlerinin, reaktif ve reaktifli olmak üzere toplu sonuçları verilmiştir.

Nötr pH'da ise kömürlerin yüzey yükünün; Sibirya için -20 mV, Soma için -30 mV, İstanbul kömürü için ise -30 mV olduğu tesbit edilmiştir. Ayrıca reaktif (dispersan+stabilizör) ilavesi ile nötr pH değerinde zeta potansiyellerinin sırasıyla; -55 mV, -60 mV, -58 mV civarına yükseldiği saptanmıştır.



Şekil 3.5. Üç kömürün reaktifli yapılan zeta potansiyelleri ölçümleri.

KSK için tanelerin yüzey yükü -60 mV dolayında olması istendiğinden, reaktif bir vaziyette -60 mV yüzey yüküne en çok (pH 10'da) Soma kömürü yaklaşmaktadır. Çözeltiye ilave edilen reaktifler kömürlerin yüzey yükünü belirgin bir şekilde düşürmektedir. pH 10'da her üçünün yüzey yükü -60 mV dolayına ulaşmaktadır. Diğer bir ifadeyle kullanılan reaktiflerin istenilen düzeyde dispersiyonu sağlayabileceği zetametre ölçümlerinden anlaşılmıştır.

3.3. Yöntem

Üç farklı özellikteki kömür (Sibirya, Soma ve İstanbul) ile hazırlanacak kömür-su karışımlarının reolojik özelliklerini, özellikle viskozitelerini belirlemek amacıyla zeta potansiyeli, adsorbsiyon kabiliyeti, viskozite ölçümleri, dolgu fraksiyonu ve çökelme indeksi deneyleri yapılmıştır.

- Adsorbsiyon Kapasitesi

Adsorbsiyon kapasitesini hesaplamak için çözeltiye ilave edilen reaktiflerin (PSS; Sodium Polystyrene Sulfonate ve CMC; Carboxymethyl Cellulose Sodium Salt) konsantrasyonu 40-200 ppm arası alınarak, aşağıda belirtilen şekilde üç kömürün adsorbsiyon kapasiteleri belirlenmiştir.

UV-Spektrofotometre ölçüm şartlarına uygun sonuçlar vermediğinden, adsorbsiyon ölçümlerinde titrasyon yöntemi kullanılmıştır. Deneylerin hazırlanmasında daha önceki çalışmalar örnek alınmıştır [41]. 30 cc saf su içine 0,3 gr kömür numunesi ilave edilip, 60 dakika karıştırıcıda bırakılmış, sonra 30 dakika santrifüj edilerek çökmesi sağlanmıştır. Karışımın berrak kısmından 20 ml alınarak titrasyonda kullanılmıştır. Titrasyon yöntemiyle tüketilen reaktif miktarı saptanarak şekil 3.6'daki kalibrasyon eğrisi çizilmiştir. Analiz sonucu bulunan değerlerden yararlanarak, aşağıda verilen formül yardımıyla her bir deney için adsorbsiyon yoğunluğu hesaplanmıştır.

$$\Gamma = (C_i - C_r)a / k \cdot 1000 \cdot S$$

$$\Gamma = \text{Adsorbsiyon yoğunluğu (mol/m}^2\text{)}$$

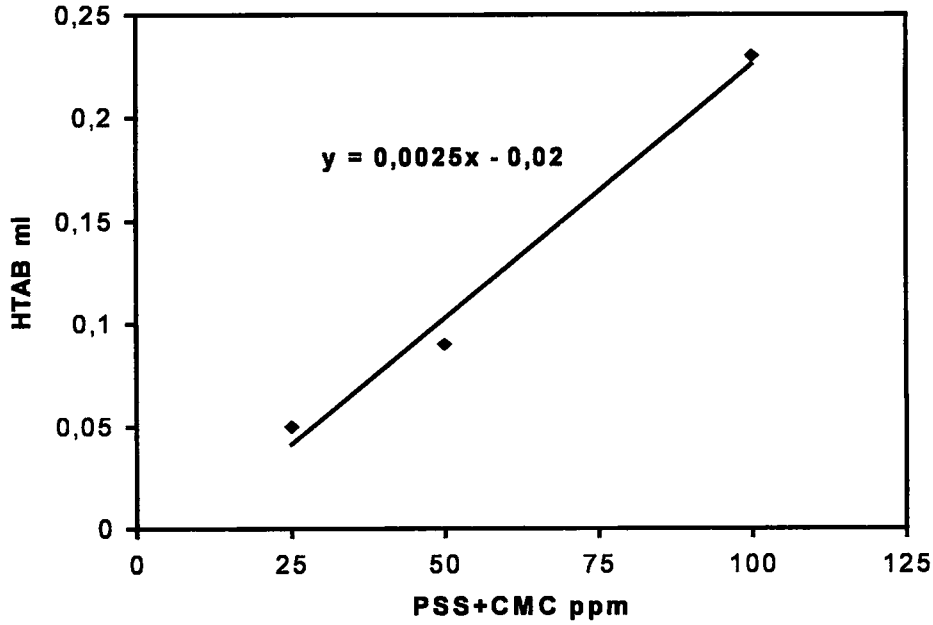
$$C_i = \text{Adsorbantın ilk konsantrasyonu (mol/l)}$$

$$C_r = \text{Adsorbantın denge (son) konsantrasyonu (mol/l)}$$

$$k = \text{Kullanılan adsorban (katı) miktarı (gr)}$$

$$a = \text{Çözelti hacmi (ml)}$$

$$S = \text{kömürün yüzey alanı (m}^2\text{ / gr)}$$



Şekil 3.6. Kullanılan reaktifin (%90 PSS+%10 CMC) kalibrasyon eğrisi.

- Viskozite Ölçümleri

Üç kömür üzerinde yapılan viskozite ölçümlerinde, hem kömür özelliklerinin, hem de KSK özelliklerinin akışkan viskozitesine etkisi incelenmiştir.

Viskozite ölçüm deneylerinde kömürlerin boyutu, ortalama boyut ile tanımlanmış ve deneylerde 3 farklı (19, 35, 50 mikron) ortalama boyut kullanılmıştır. Böylece tane boyunun KSK'nın viskozitesine etkisi incelenmiştir. Viskozite ölçüm deneylerinde KSK değişkenleri olarak, pülp sıcaklığı ve pülpte katı oranı (PKO) ele alınmıştır.

Pülpte katı oranının viskoziteye etkisini belirlemek amacıyla, her üç kömürün , üç farklı ortalama boyutu (19,35,50 mikron) ile değişik pülpte katı oranlarında KSK'lar hazırlanmış olup, viskozite ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

Viskozite deneyleri 15 gram kömür numunesi ile hazırlanan KSK ile gerçekleştirilmiş ve pülpte katının %1'i oranında 50 ppm konsantrasyonundaki reaktif (%0,9 PSS + %0,1 CMC) ilave edilmiştir. Karışım 10 dakika 1200 dev/dak karıştırıcıda karıştırılıp, viskozite ölçümlerine geçilmiştir. Ölçümler, Brookfield RVD2 marka döner tip viskozimetrede yapılmıştır. Yapılan ön deneyler sonucu, kömür-su karışımları için uygun mil tesbitinden (s-28 mil) sonra viskozite

ölçümlerine geçilmiştir. PKO'nun etkisinin incelendiği deneylerde KSK'nın sıcaklığı su banyosu yardımıyla 25 °C ' de sabit tutulmuştur. Pülp sıcaklığının viskoziteye etkisini belirlemek için yapılan deneylerde her bir kömürün üç farklı ortalama boyutunda (19, 35, 50 mikron) pülp sıcaklığı 2, 10, 25, 30 °C alınmak suretiyle deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneylerde 19 mikron ortalama boyut için %48 PKO, 35 mikron ortalama boyut için %55 PKO, 50 mikron ortalama boyut için %60 PKO olarak sabit tutulmuş ve bu değerler öndenemeler sonucu saptanmıştır.

- Dolgu Fraksiyonu Ölçümleri

Kömür-su karışımlarının reolojik özelliklerine önemli etkisi olan dolgu fraksiyonu kavramı üzerine de deneyler gerçekleştirilmiştir. Her bir kömürün üç farklı boyutunun (19, 35, 50 mikron) dolgu fraksiyonları literatürde belirtilen şekilde belirlenmiştir [17].

$$\text{Dolgu Fraksiyonu} = \text{son seviye değeri(ml)} / \text{ilk seviye değeri (ml)} \quad (4.2)$$

Dolgu fraksiyonu deneyleri aşağıdaki şekilde gerçekleştirilmiştir. 10 ml mezür, toz (kuru) linyit ile doldurulur, üst kısmı kapatılır. Kömür seviyesi sabit kalana kadar, belirli bir sayıda ve frekansta titreşim uygulanır. 120 vuruş/dak ile 3 dakika titreşim uygulanmıştır. Kömürün titreşim sonrasındaki seviye değerinin, ilk seviye değerine bölünmesiyle dolgu fraksiyonu bulunur.

Daha sonraki aşamada dolgu fraksiyonu belirlenen, üç farklı ortalama boyuttaki kömür ile 25 °C'de ve %55 PKO'da viskozite ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

Bu grup deneylerin ikinci aşamasında ortalama boyutları 50 mikron olan fakat farklı boyut dağılımına sahip iki kömür karışımı hazırlanmış ve bu farklı karışımların dolgu fraksiyonları saptanmıştır. Farklı boyut dağılımlarına sahip karışımlar ile, değişik pülp te katı oranlarında KSK'lar hazırlanmış ve viskoziteleri 25 °C'de ölçülmüştür.

- Çökelme İndeksi Ölçümleri

Kömür-su karışımlarının belirli bir süre çökmemesi ve süspansiyon içindeki tanelerin askıda durması gerekmektedir. Bu özelliğin tesbiti ise KSK'da çökelme indeksinin saptanmasıyla tesbit edilmektedir. Çökelme indeksinin yapılışı verilmiştir;

Değişik pülpte katı oranlarındaki kömür-su karışımları, 100 ml'lik cam mezürlerin 80 ml'sine kadar doldurulup, 2 gün çökmesi beklenir. Süre sonunda, mezürün altında kalan kısımdan 50 ml'lik kısım kurutulup tartılarak, son PKO bulunur. Son PKO'nun ilk PKO'ya bölünmesiyle çökelme indeksi hesaplanmıştır.

Çökelme indeksi, her bir kömür için üç farklı (19, 35, 50 mikron) ortalama boyutta, KSK'larının PKO'larını değiştirmek suretiyle saptanmıştır. Böylece farklı PKO'larındaki KSK'ların çökme davranışları incelenmiştir.

- Akış Türü Ölçümleri

Deneyisel çalışmaların son aşamasında KSK'nın akış türü incelenmiştir. Döner tip viskozimetrede, %45 PKO'daki 19 mikron boyutlu KSK'lar ile değişik dönme hızlarında (10 ,20 ,50 ,60 ve 100 dev/dak'da), viskozite ölçümleri yapılmıştır. Ölçümler sonucunda kayma gerilimi-kayma hızı değişimi incelenerek KSK'ların akış türlerinin belirlenmesine çalışılmıştır.

3.4. Deneylerde Kullanılan Malzeme Ve Teçhizat

Bu bölümde, deneylerde kullanılan numunelerin hazırlanmasına, kullanılan kimyasal maddeler ve kullanılan teçhizata yer verilmiştir.

3.4.1. Deneylerde Kullanılan Numunelerin Hazırlanması

Deneylerde kullanılmak üzere; kömürler sırasıyla çeneli, konili ve merdaneli kırıcılardan geçirilerek; -1 mm boyutlu numuneler elde edilmiştir. Bilyalı değirmende öğütülen malzeme daha sonra eleklerden elenmiş ve; -210+106, -106+74, -74+53, -53+38 ve -38 mikron boyut gruplarına ayrılmıştır. Her bir boyut grubu ayrı ayrı muhafaza altına alınmış ve aşağıda belirtildiği şekilde, ön görülen ortalama boyutta numuneler hazırlanmıştır. Deneylerde 50, 35 ve 19 mikron ortalama tane boyutlarında kömür numuneleri kullanılması planlandığından; hazırlanan boyut grupları, öngörülen oranlarda karıştırılmak suretiyle, deneylerde kullanılan numuneler oluşturulmuştur.

50, 35 ve 19 mikron ortalama boyutlarında her üç kömür ile oluşturulan karışımların boyut dağılımları Tablo 3.3, 3.4, 3.5'te verilmiştir.

Tablo 3.3. 50 mikron ortalama tane boyutunda hazırlanan numunelerde boyut gruplarının dağılım oranları.

Boyut aralığı, mikron	Ortalama tane boyu, X	Miktar,(M)	X*M
+210	205	0	0
-210+106	158	3,33	526,66
-106+74	90	15,33	1380
-74+53	63,5	21,33	1354,66
-53+38	45,5	23,33	1061,66
-38	19	36,66	696,66
Toplam		100	5019,66

Tablo 3.4. 35 mikron ortalama tane boyutunda hazırlanan numunelerde boyut gruplarının dağılım oranları.

Boyut aralığı, mikron	Ortalama tane boyu, X	Miktar,(M)	X*M
+210	205	0	0
-210+106	158	0	0
-106+74	90	6	540
-74+53	63,5	6	381
-53+38	45,5	34,66	1577,33
-38	19	53,33	1013,33
Toplam		100	3511,66

Tablo 3.5. 19 mikron ortalama tane boyutunda hazırlanan numunelerde boyut gruplarının dağılım oranları.

Boyut aralığı, mikron	Ortalama tane boyu, X	Miktar,(M)	X*M
-38	19	100	1900
Toplam		100	1900

19 mikron ortalama tane boyutunda numune hazırlanırken laboratuvar olanakları çerçevesinde numunenin tamamı 38 mikronluk elek altına geçecek şekilde öğütülmüş ve ortalama boyut ($38/2=19$ mikron) tanımlanmıştır.

3.4.2. Deneylerde Kullanılan Kimyasal Maddeler

Hidrofob özelliğe sahip kömür tanelerinin ıslanabilmelerini sağlamak amacıyla kimyasal katkı maddelerinin ilavesi gereklidir. Aksi takdirde ideal şartlara uygun viskozite elde edilememektedir. İdeal kömür-su karışımlarında, kömür tanelerinin dağılıp ıslanmasını, çökmemesini sağlamak ve düşük viskozite elde edebilmek ancak bir dispersan ve stabilizör ilavesiyle mümkün olmaktadır. Kömür yüzeyleri, küçük miktarda negatif yüzey yüküne sahiptir. Bu negatif yüzey yükünü arttırıp, elektriksel itme kuvveti yükseltmek için, dispersan reaktiflerinden iyonik tipteki dispersanlar içinde en uygun olanı anyonik tip dispersanlardır. Daha önceki çalışmalar da, bunu ifade etmektedir [41]. Dispersan madde seçiminde daha önceki çalışmalar göz önüne alınarak anyonik reaktif olarak PSS (Sodium Polystyrene Sulfonate, polielektrolit); kullanılmasına karar verilmiştir [41]. Elektrostatik itme kuvvetlerinin yanısıra sterik engel kuvvetleri de uygun viskoziteli karışımların hazırlanmasında etkilidir. Dispersan ilavesi ile elektrostatik itme kuvvetleri sağlanmış olur. Ancak tanelerin birbirleri üzerinden kayarak gerçekleştirdikleri çökme hareketi nedeniyle stabil bir dispersiyon sağlanamaz. Stabilizör, tane yüzeylerini kaplayarak hafif bir flokleşme sağlar ve tanelerin birbiri üzerinden kayarak gerçekleştirdikleri çökmeyi engeller, buna sterik engel adı verilir. Sterik engel kuvvetleri, dispersanların daha polimerik yapıya dönüştürülmesi ile oluşur. Örneğin nanyonik polimer sürfaktan olan, polioksietilen nonil fenil eter dispersan olarak kullanıldığında; yapı içindeki etilenin molar sayısının arttırılması ile sterik engel etkisi yaratılmış olur. Deneylerde Stabilizör madde olarak CMC (Carboxymethyl Cellulose Sodium Salt) kullanılmıştır. Selülozdan elde edilen suda çözünebilir bir polimerdir. Özellikle depolama

işlemlerinde dengeyi düzenler. Daha önce yapılan araştırmalara dayanılarak deneylerde, kömür numunesinin ağırlıkça %1'i oranında kimyasal madde kullanılmıştır [41]. Bu %1'lik oranın, %90'ı PSS, %10'u CMC maddesinden oluşturulmuştur.

3.4.3. Deneylerde Kullanılan Teçhizat

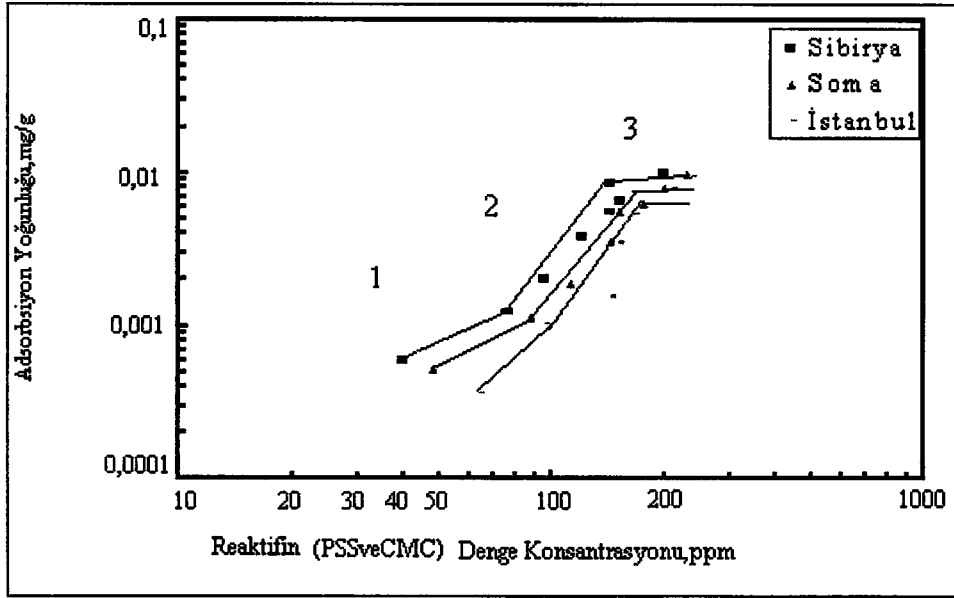
Deneyisel çalışmalarda; numunenin istenilen boyuta indirilmesi için, çeneli, konili ve merdaneli kırıcılar ile bilyalı değirmen kullanılmıştır. Her bir numunenin yüzey özelliklerinin belirlenmesi için zetametre cihazı, viskozite ölçümleri için ise, Brookfield marka RVD2 döner tip viskozimetre kullanılmıştır. Viskozimetre, bilgisayar ile kapalı devre çalışmakta olup tüm reolojik ölçümler otomatik olarak alınmıştır. Dolgu fraksiyonu ölçümlerinde 10 ml'lik, çökelme indeksi deneylerinde ise 100 ml'lik cam mezürler kullanılmıştır.

3.5. Deney Numunelerinin Adsorbsiyon Kapasitelerinin İncelenmesi

Adsorbsiyon, gaz yada çözünmüş maddelerin katı yüzeyine yoğunlaşmasıdır. Dispersan, molekülünün büyük kısmını meydana getiren hidrofobik kısmıyla kömürün hidrofobik yüzeyine adsorbe olur. Molekülün hidrofilik küçük kısmı kömürün su ile temas eden yüzeyinde kalır ve böylece kömürün ıslanması sağlanır.

İstenilen özellikte, uygun viskoziteye sahip karışımların hazırlanması için, dispersan adı verilen reaktifler kullanılır. Bu kimyasal reaktiflerin kullanılmasındaki amaç, reaktif iyonlarının kömür yüzeylerine ilişmesini sağlamak ve düşük zeta potansiyeline sahip kömür yüzeylerinin, zeta potansiyeli değerini yükseltmektir. Bu amaçla kullanılan reaktifin her 3 kömür numunesi üzerindeki adsorbsiyon kabiliyetini ortaya koymak için, adsorbsiyon ölçümleri yapılmıştır.

Şekil 3.7'deki adsorbsiyon izoterminde, 1 ve 2 ile gösterilen bölgede reaktif adsorbsiyonunun giderek arttığı, 3 ile gösterilen bölgede ise kritik misel davranışı nedeniyle (reaktiflerin birbirleri üzerine adsorblanması) adsorblanmanın azaldığı görülmektedir.



Şekil 3.7. Kömür-reaktif adsorbsiyon izotermi.

Şekil 3.7’de adsorbsiyon yoğunluğu, kömürleşme derecesi arttıkça, yükselmektedir. Çünkü kömürleşme derecesi arttıkça yüzeydeki oksijen içeren fonksiyonel gruplar azalır ve yüksek dereceli hidrofob kömürlerde dispersan adsorbsiyonu daha fazla olmaktadır.

3.6. Kömür-Su Karışımlarında Viskozite Ölçüm Deneyleri

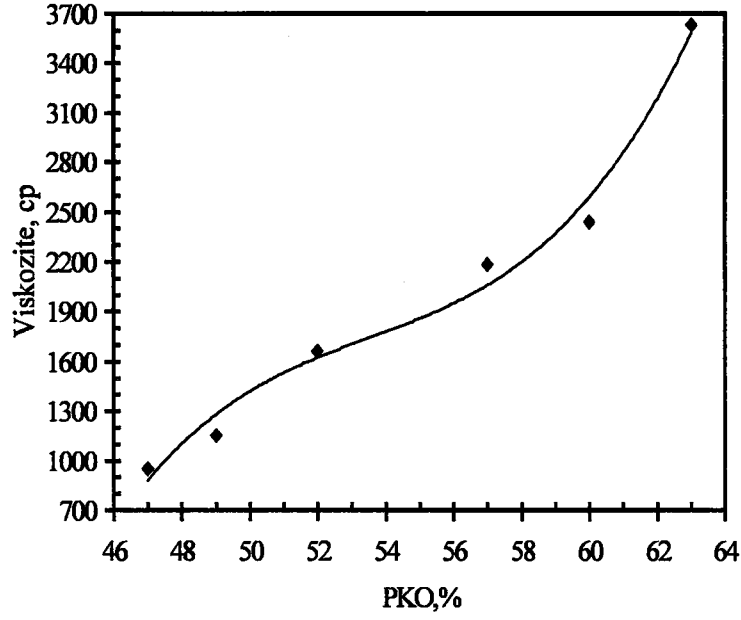
Viskozite ölçümleri, her bir kömür numunesi için, 50, 35 ve 19 mikron ortalama boyunda hazırlanmış numuneler ile gerçekleştirilmiştir.

3.6.1. Pülpte Katı Oranının Viskoziteye Etkisi

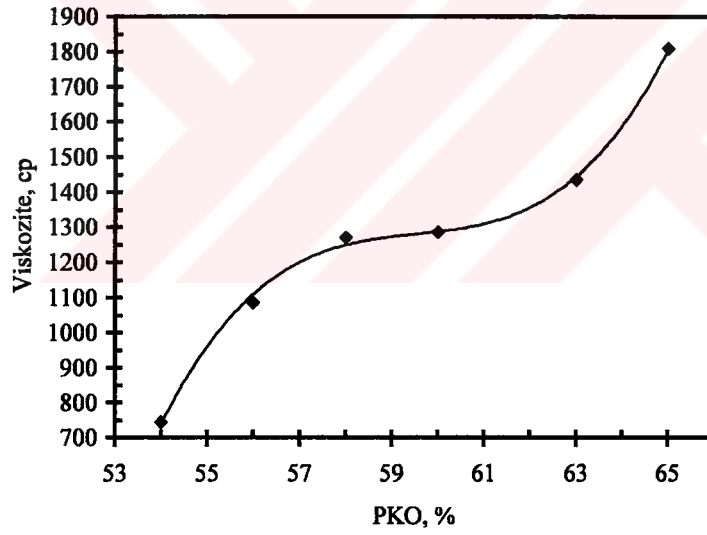
Bu bölüm üç kömür numunesi üzerinde yapılan deneylerin sonuçlarını kapsamaktadır.

3.6.1.1. Sibirya Kömürü İle Gerçekleştirilen Deneyler

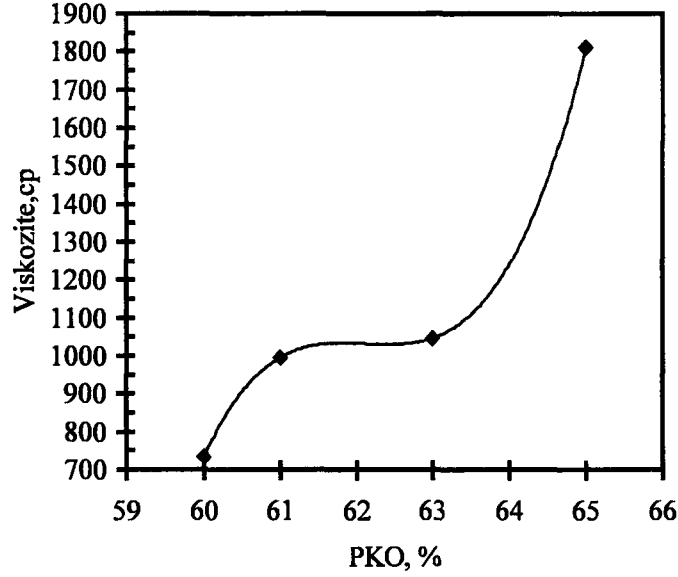
Sibirya kömürleri üzerinde, yukarıda belirtilen 3 farklı ortalama tane boyutlarına sahip numunelerde, viskozite ölçümleri alınarak, pülpte katı oranının viskozite üzerindeki etkisi incelenmiştir. Sonuçlar şekil 3.8, 3.9 ve 3.10’da verilmiştir.



Şekil 3.8. 19 mikron ortalama tane boyutlu Sibirya kömürü ile, değişik pülpte katı oranlarında viskozite deney sonuçları.



Şekil 3.9. 35 mikron ortalama tane boyutlu Sibirya kömürü ile, değişik pülpte katı oranlarında viskozite deney sonuçları.



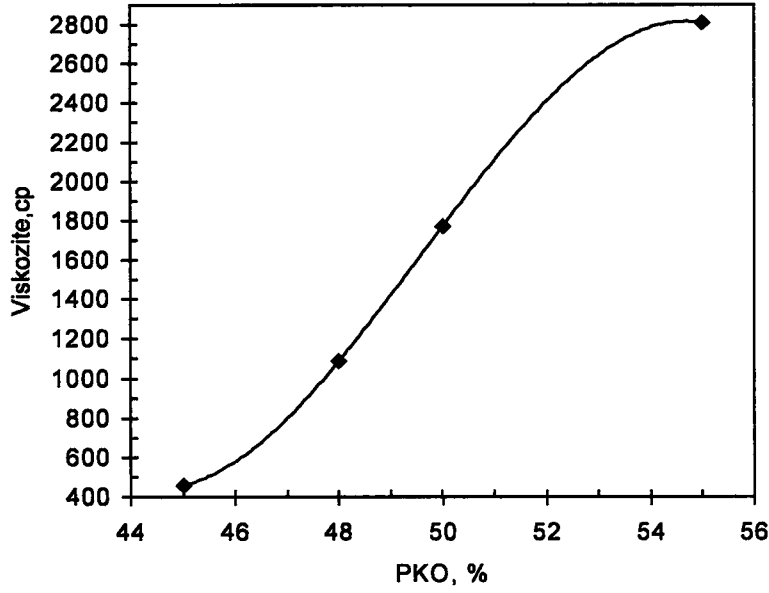
Şekil 3.10. 50 mikron ortalama tane boyutlu Sibirya kömürü ile, değişik pülpte katı oranlarında viskozite deney sonuçları.

Sibirya kömürleri üzerinde, farklı ortalama tane boyutlarında yapılan ve pülpte katı oranının viskozite üzerine etkisinin incelendiği deney sonuçlarından; her 3 ortalama tane boyunda da pülpte katı oranı arttıkça doğal olarak viskozitenin arttığı, bununla birlikte boyun küçülmesi ile de viskozitenin yükseldiği tesbit edilmiştir. 19 mikron ortalama tane boyutlu karışımın %60 PKO'da viskozitesi 2500 cp iken, aynı pülpte katı oranında, 35 mikron boyutlu karışım için bu değer 1300 cp, 50 mikron boyutlu karışımında ise 740 cp olmuştur.

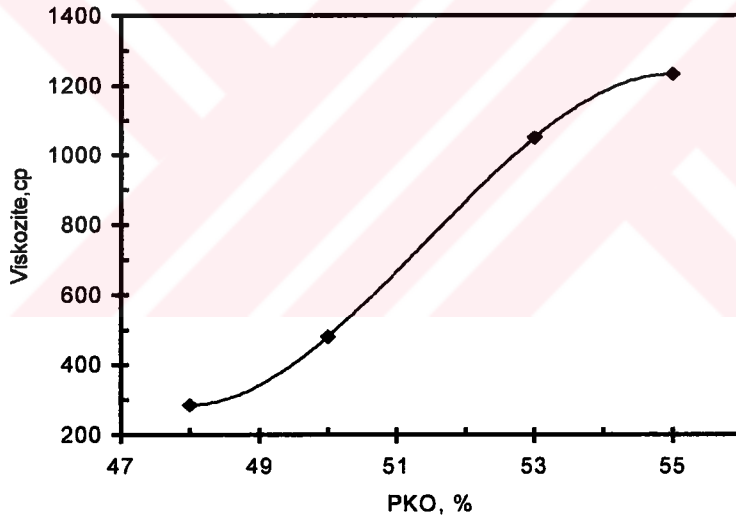
Pülpte katı oranının artmasıyla genel olarak, viskozitenin artmasına karşın; pülpte katı oranına bağlı olarak viskozite artması 19 mikronda lineere yakın bir yapı göstermekte; fakat, iri boyutlarda bu değişim hiperbolik bir yapı sunmaktadır. Her bir ortalama boyut için viskozitenin pek değişmediği PKO aralığı farklıdır. Örneğin 35 mikron için %58-62 PKO'da yatay konumda olan viskozite, 50 mikron için %61-64 PKO'da gerçekleşmektedir.

3.6.1.2. Soma Kömürü İle Gerçekleştirilen Deneyler

Soma kömürleri üzerinde, yine 3 farklı ortalama tane boyundaki numuneler ile pülpte katı oranının viskozite üzerine etkisinin incelenmiştir. Sonuçlar şekil 3.11, 3.12 ve 3.13'te verilmiştir.



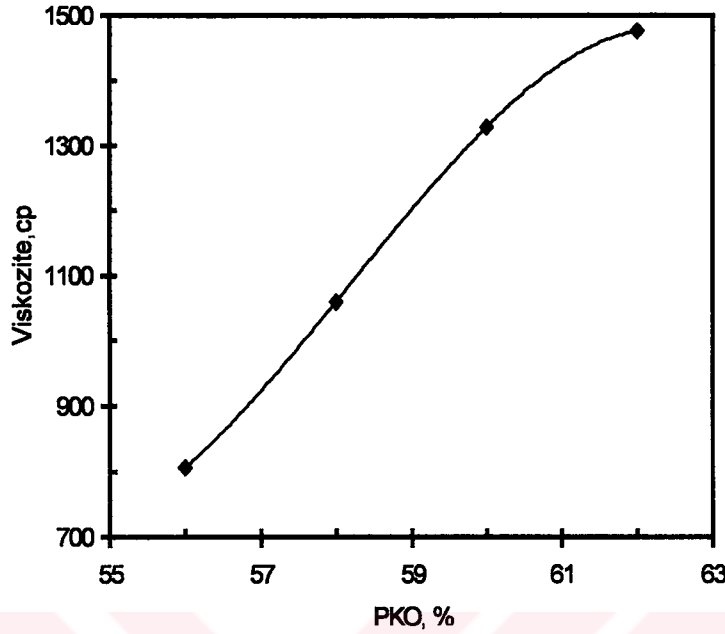
Şekil 3.11. 19 mikron ortalama tane boyutlu Soma kömürü ile, değişik pülpte katı oranlarında viskozite deney sonuçları.



Şekil 3.12. 35 mikron ortalama tane boyutlu Soma kömürü ile, değişik pülpte katı oranlarında viskozite deney sonuçları.

Soma kömürleri üzerinde, farklı ortalama tane boyutlarında yapılan ve pülpte katı oranının viskozite üzerine etkisinin incelendiği deney sonuçlarından; her 3 ortalama tane boyunda da pülpte katı oranı arttıkça viskozitenin arttığı, bununla birlikte boyutun küçülmesi ile de viskozitenin yükseldiği izlenmiştir. 19 mikron ortalama tane boyutlu karışımın %55 PKO'da viskozite değeri 2800 cp ölçülmüştür. Aynı

PKO'da, 35 mikron boyutlu karışımda 1200 cp, 50 mikron boyutlu karışımda ise 800 cp civarı viskozite değeri tesbit edilmiştir.



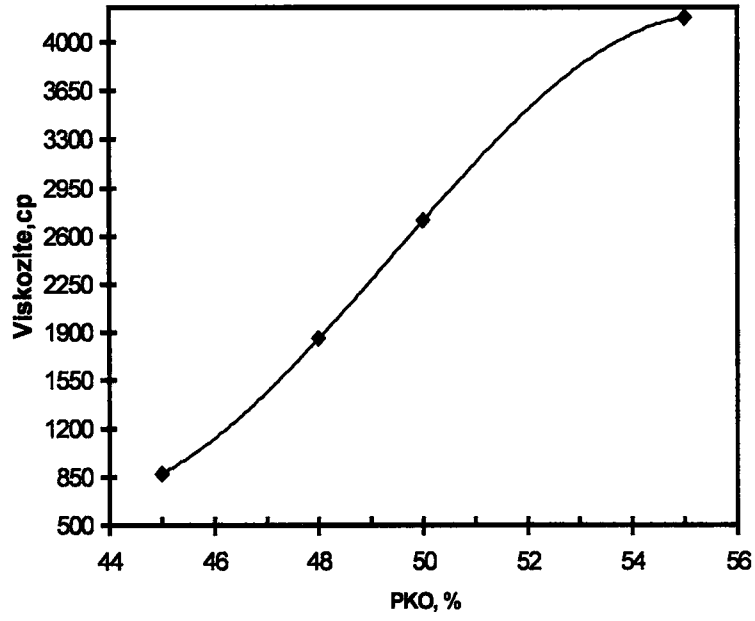
Şekil 3.13. 50 mikron ortalama tane boyutlu Soma kömürü ile, değişik pülpte katı oranlarında viskozite deney sonuçları.

Soma kömüründe her üç ortalama boyutundaki numuneler için PKO'ya bağlı viskozite değişimi hemen hemen lineer bir yapı göstermektedir.

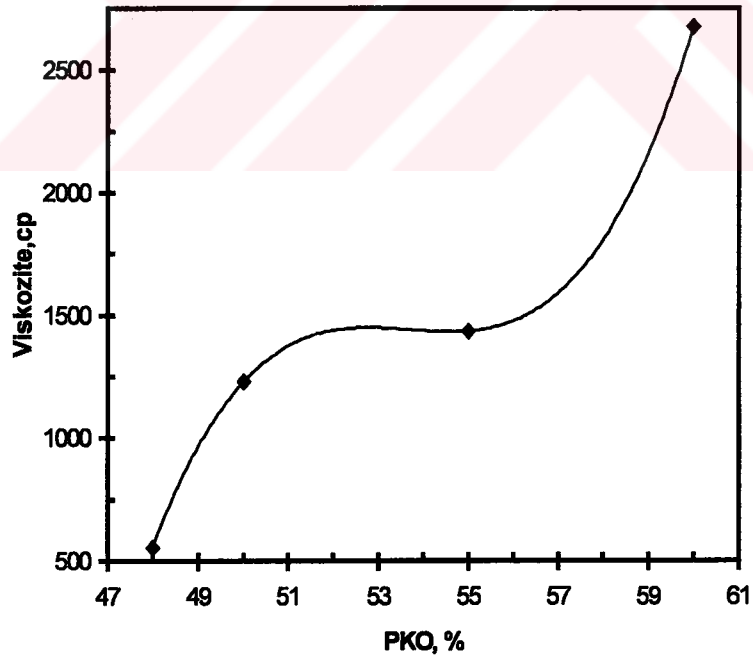
3.6.1.3. İstanbul Kömürü İle Gerçekleştirilen Deneyler

Sibirya ve Soma kömürleri ile yapılan viskozite ölçümlerdeki deney sistematığı aynı şekilde İstanbul kömüründe uygulanmıştır. 19, 35 ve 50 mikron ortalama tane boyutlarında yapılan viskozite ölçüm sonuçları şekil 3.14, 3.15 ve 3.16'da verilmiştir.

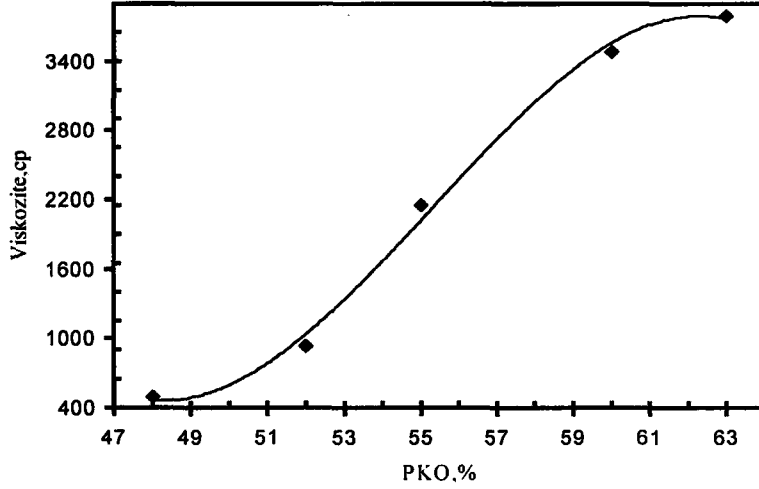
İstanbul kömüründe, farklı tane boyutlarında yapılan ve pülpte katı oranının viskozite üzerine etkisinin incelendiği deney sonuçlarından; her 3 ortalama tane boyunda da viskozitenin katı içeriği arttıkça yükseldiği, boyun küçülmesiyle de viskozitenin yükseldiği izlenmiştir. 19 mikron ortalama tane boyutlu karışımın %52 PKO'da viskozite değeri 3300 cp ölçülmüştür. Aynı PKO'da, 35 mikron boyutlu karışımda 1400 cp, 50 mikron boyutlu karışımda ise 800 cp viskozite değeri tesbit edilmiştir.



Şekil 3.14. 19 mikron ortalama tane boyutlu İstanbul kömürü ile, değişik pülpte katı oranlarında viskozite deney sonuçları.



Şekil 3.15. 35 mikron ortalama tane boyutlu İstanbul kömürü ile, değişik pülpte katı oranlarında viskozite deney sonuçları.

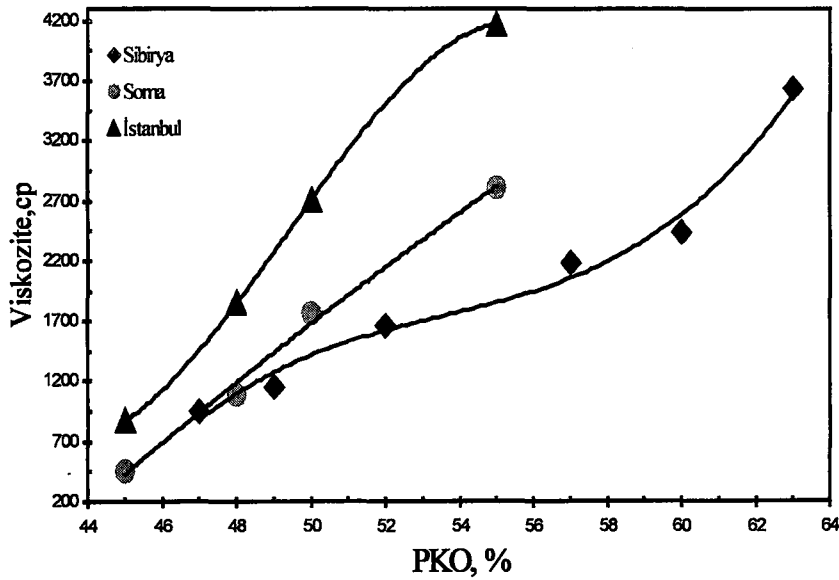


Şekil 3.16. 50 mikron ortalama tane boyutlu İstanbul kömürü ile, değişik pülpte katı oranlarında viskozite deney sonuçları.

Soma kömüründe olduğu gibi, İstanbul kömüründe de PKO'ya bağlı viskozite değişimi benzer bir eğilim göstermektedir.

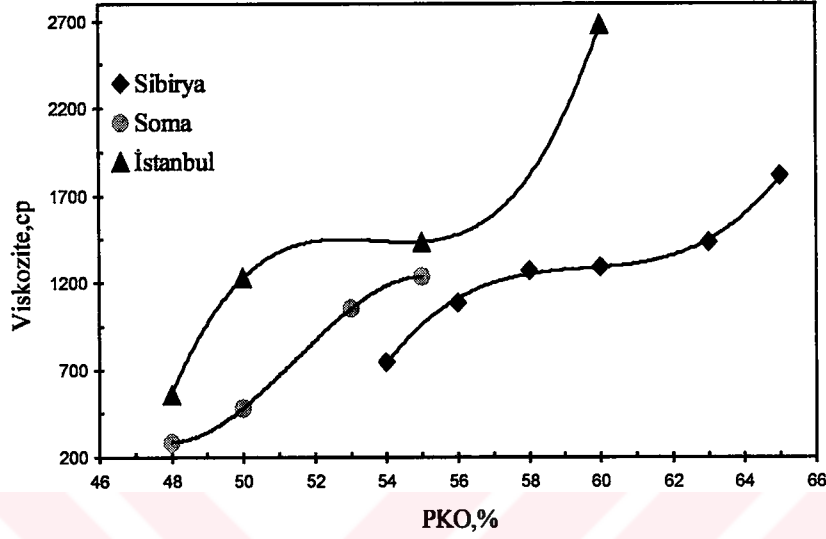
3.6.1.4. Üç Kömüre Ait Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

Şekil 2.17, 18 ve 19'da üç farklı ortalama tane boyundaki kömürler ile gerçekleştirilen viskozite deney sonuçlarında, ortalama tane boyutları baz alınarak çeşitli PKO' larda viskozite değerlerinin değişimi toplu olarak verilmiştir.

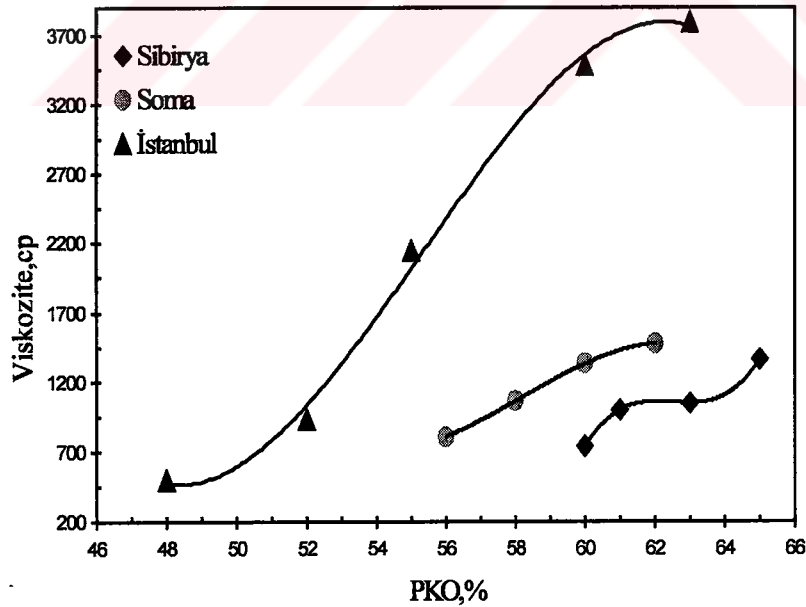


Şekil 3.17. 19 mikron ortalama tane boyutlu İstanbul, Soma ve Sibirya kömürleri ile değişik PKO'larda gerçekleştirilen viskozite deney sonuçları.

Her üç kömür için 19 mikron ortalama boyutta, istenilen viskozite değerlerinde (max. 1000 cp) KSK hazırlamak için pülpte katı oranının % 50'nin altında olması gerekmektedir. 19 mikron gibi çok ufak ortalama boyutların KSK hazırlanması için uygun olmadığı anlaşılmıştır.



Şekil 3.18. 35 mikron ortalama tane boyutlu İstanbul, Soma ve Sibirya kömürleri ile değişik PKO'larda gerçekleştirilen viskozite deney sonuçları.



Şekil 3.19. 50 mikron ortalama tane boyutlu İstanbul, Soma ve Sibirya kömürleri ile değişik PKO'larda gerçekleştirilen viskozite deney sonuçları.

35 mikron ortalama boyutunda kömür özelliklerinin viskoziteyi daha belirgin bir şekilde etkilediği şekil 3.18'den görülmektedir. Sibiry kömüründe viskozite PKO'ya göre daha az değişim göstermektedir. Sibiry kömürü için %60 PKO'da ve 1000 cp'de KSK hazırlanırken, Türk kömürleri için aynı viskoziteye ancak %50-55 PKO'da ulaşılabilir.

Kömürün porozitesinin ve özgül yüzeyinin artması, viskoziteyi, özellikle %50'den daha yüksek PKO'larda hızla arttırmaktadır. Bu durum, genç kömür olan İstanbul kömürü için daha belirgindir.

Genel olarak, ortalama tane boyu büyüdükçe, viskozitenin azaldığı saptanmıştır. Bununla birlikte yüksek PKO'lara çıkıldıkça viskozitede aşırı artış Şekil 3.27, 3.28 ve 3.29'dan izlenmektedir. Sibiry kömürleri ile en düşük, İstanbul kömürü ile en yüksek viskozitelere ulaşılmıştır. 19 mikron ortalama tane boyutlu karışımın %50 PKO'da viskozite değeri İstanbul kömürü için 2700 cp., Soma kömürü için 1800 cp., Sibiry kömürü içinse 1300 cp olarak ölçülmüştür. Bu durum kömürleşme derecesi, dolayısıyla porozite, uçucu madde, C ve O içeriği ile ilişkilidir. Tablo 3.6'da 100 dev/dak'da ortalama 1000 cp viskozite değerinde, 3 farklı kömürde ve üç farklı ortalama tane boyunda elde edilen PKO değerleri verilmiştir.

Tablo 3.6. Kömürlerde 100 dev/dak'da 1000 cp viskozitede elde edilen sonuçlar.

Numune	Sibiry kömürü	Soma kömürü	İstanbul-Ağaçlı
Ort. tane boyutu, mikron	PKO, %	PKO, %	PKO, %
19	48	48	46
35	56	54	49
50	63	58	53

Tablo 3.6'da görüldüğü gibi, 19 mikron ortalama boyutta, Sibiry ve Soma kömürlerinden oluşan KSK'ya İstanbul kömüründen oluşana göre daha fazla katı yüklemesi yapılabilir. 35 mikron ortalama boyutta, en yüksek katı yüklemesi, sırasıyla, Sibiry, Soma ve İstanbul kömürlerinin KSK'larından elde edilmiştir. 50 mikron ortalama boyutta ise, farklar dahada belirginleşmiştir. Sibiry KSK'sında 63, Soma KSK'sında 58 ve İstanbul KSK'sında 53 (%PKO) katı yüklemesine ulaşılmıştır.

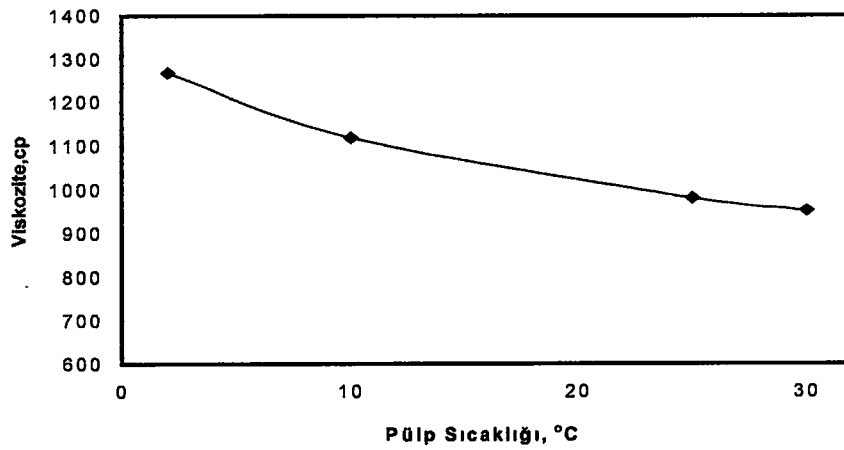
3.6.2. Pülp Sıcaklığının Viskoziteye Etkisi

3.6.2.1. Sibirya Kömürü İle Gerçekleştirilen Deneyler

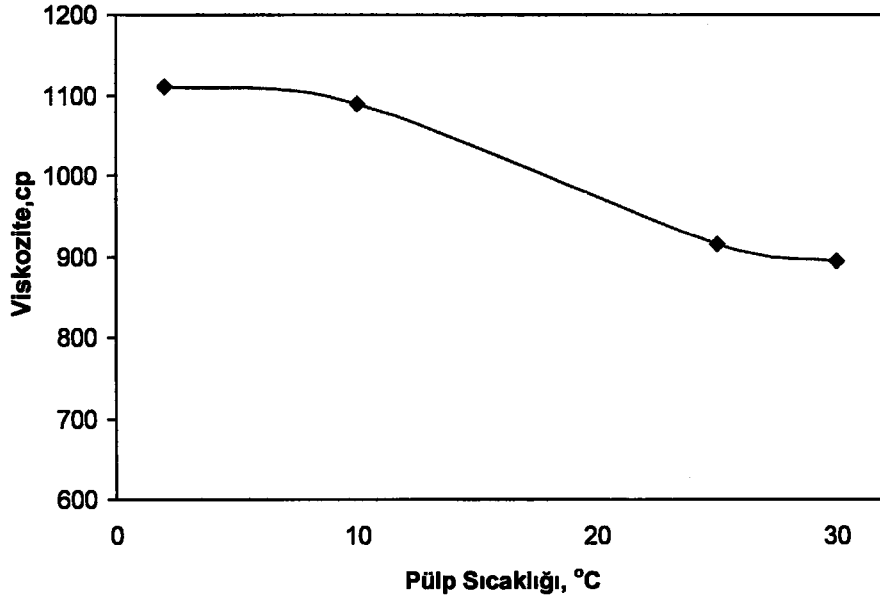
KSK'larında pülp sıcaklığının viskozite üzerinde etkisinin araştırıldığı bu deneylerde, ölçümler 2 °C, 10 °C, 25 °C, 30 °C' lerdeki pülpde gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları Tablo 3.7, Şekil 3.20, 3.21 ve 3.22'de verilmiştir.

Tablo 3.7. Sibirya kömürü ile oluşturulan KSK'ların değişik pülp sıcaklıklarındaki viskozite ölçüm sonuçları.

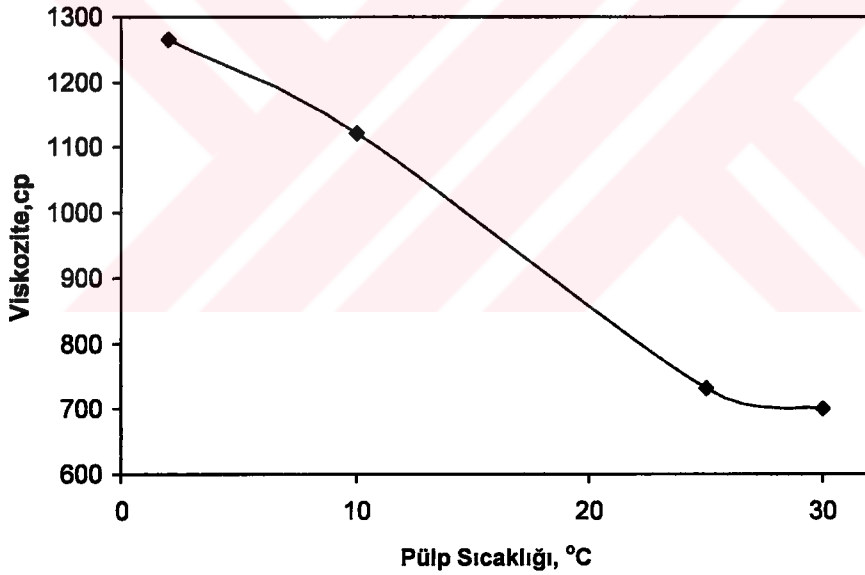
Kömür	Ortalama boyut,mikron	PKO ,%	Viskozite,cp	Sıcaklık, °C
Sibirya	19	48	1268	2
			1118	10
			980	25
			952	30
	35	55	1110	2
			1089	10
			916	25
			894	30
	50	60	1266	2
			1121	10
			732	25
			700	30



Şekil 3.20. 19 mikron ortalama boyut ve %48 pülpde katı oranındaki Sibirya KSK'nda pülp sıcaklığına bağlı olarak viskozitesinin değişimi.



Şekil 3.21. 35 mikron ortalama boyut ve % 55 pülp te katı oranındaki Sibirya KSK'nda pülp sıcaklığına bağlı olarak viskozitesinin değişimi.



Şekil 3.22. 50 mikron ortalama boyut ve % 60 pülp te katı oranındaki Sibirya KSK'nda pülp sıcaklığına bağlı olarak viskozitesinin değişimi.

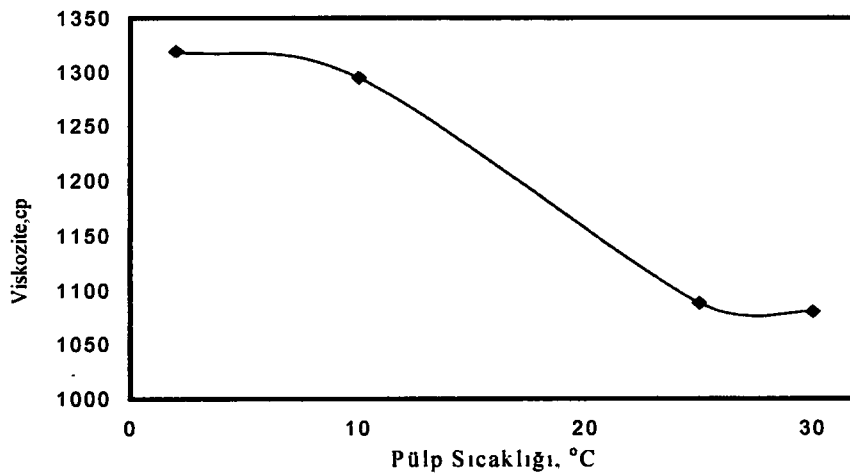
Şekil 3.20, 3.21 ve 3.22'den izleneceği üzere sıcaklığın atmasıyla pülp viskozitesinin azaldığı tesbit edilmiştir. %60 PKO'daki 50 mikron boyutlu karışımın 10 °C'deki viskozitesi 1150cp iken, 30 °C'de 700 cp'ye kadar düşmektedir. KSK'da ortalama tane boyunun büyümesi pülp sıcaklığının 15 °C' ye kadar düşürülmesine (1000 cp için) olanak tanımaktadır.

3.6.2.2. Soma Kömürü İle Gerçekleştirilen Deneyler

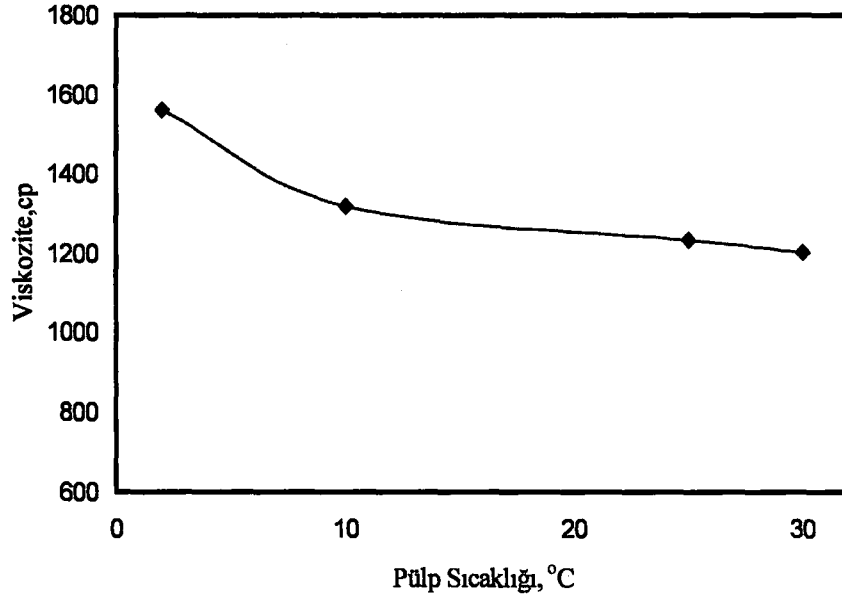
Soma kömüründen elde edilen sonuçlar Tablo 3.12 ve Şekil 3.23, 3.24 ve 3.25'te verilmiştir.

Tablo 3.8. Soma kömürü ile oluşturulan KSK'ların değişik pülp sıcaklıklarındaki viskozite ölçüm sonuçları.

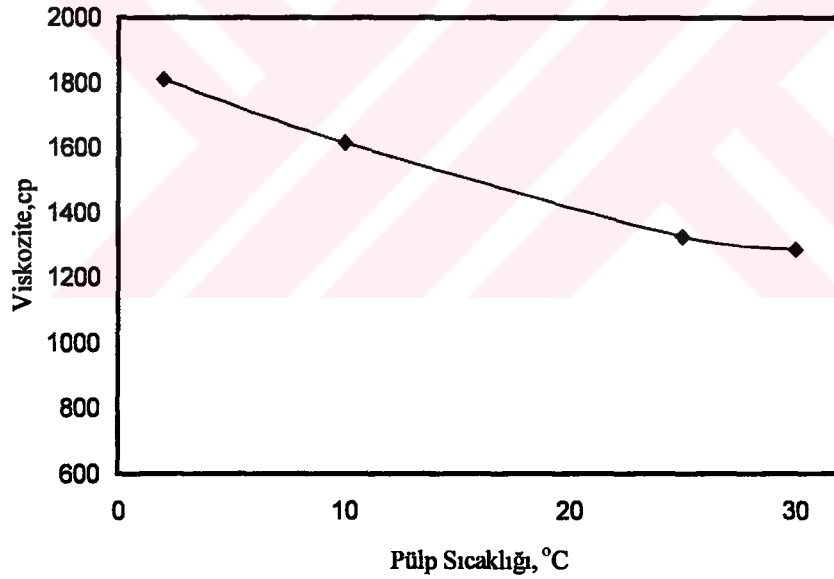
Kömür	Tane boyu,mikron	PKO,%	Viskozite,cp	Sıcaklık, °C
Soma	19	48	1319	2
			1295	10
			1088	25
			1080	30
	35	55	1560	2
			1317	10
			1232	25
			1201	30
	50	60	1810	2
			1616	10
			1328	25
			1289	30



Şekil 3.23. 19 mikron ortalama boyut ve %48 PKO'daki Soma KSK'nda pülp sıcaklığına bağlı olarak viskozitesinin değişimi.



Şekil 3.24. 35 mikron ortalama boyut ve % 55 pülpte katı oranındaki Soma KSK’nda pülöp sıcaklığına bağılı olarak viskozitesinin değışimi.



Şekil 3.25. 50 mikron ortalama boyut ve % 60 pülpte katı oranındaki Soma KSK’nda pülöp sıcaklığına bağılı olarak viskozitesinin değışimi.

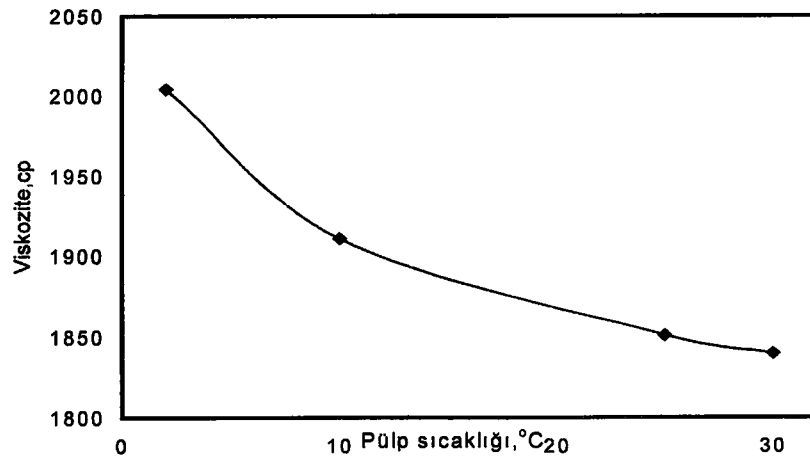
Şekil 3.23, 3.24 ve 3.25’ten izleneceğı üzere ısının atmasıyla pülöp viskozitenin azaldığı tesbit edilmiştir. %60 PKO’daki 50 mikron boyutlu karışımın 10 derecedeki viskozitesi 1600cp iken, 30 derecede 1300 cp’ye kadar düşmektedir.

3.6.2.3. İstanbul Kömürü İle Gerçekleştirilen Deneyler

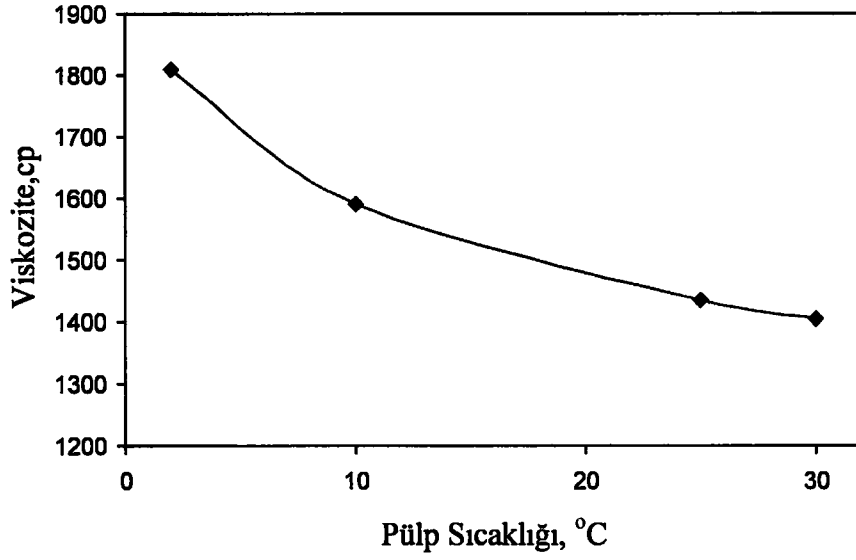
İstanbul kömürü üzerinde elde edilen sonuçlar Tablo 3.9 ve Şekil 3.26, 3.27 ve 3.28’da verilmiştir.

Tablo 3.9. İstanbul kömürü ile oluşturulan KSK’ların değişik pülp sıcaklıklarındaki viskozite ölçüm sonuçları.

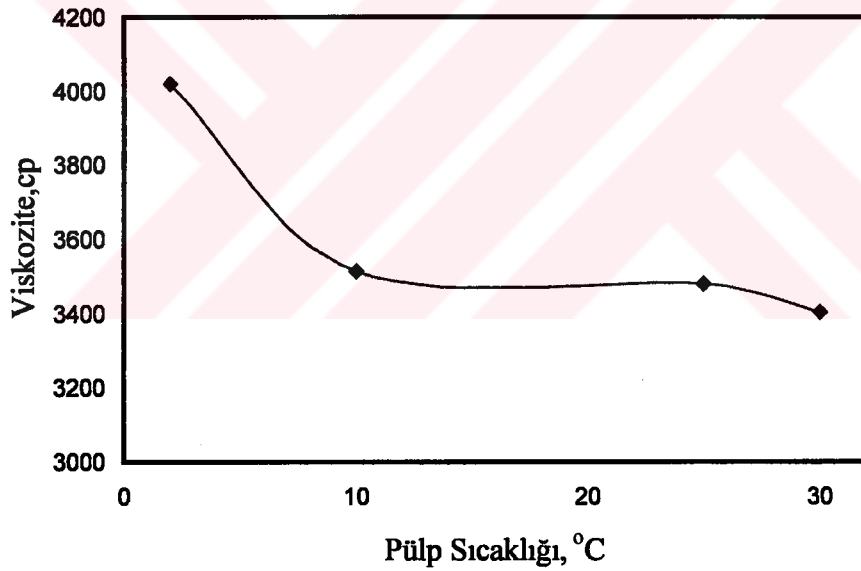
Kömür	Tane boyu,mikron	PKO,%	Viskozite,cp	Sıcaklık, °C
İstanbul	19	48	2004	2
			1911	10
			1851	25
			1840	30
	35	55	1810	2
			1590	10
			1435	25
			1405	30
	50	60	4020	2
			3515	10
			3480	25
			3404	30



Şekil 3.26. 19 mikron ortalama boyut ve %48 PKO’daki İstanbul KSK’nda pülp sıcaklığına bağlı olarak viskozitesinin değişimi.



Şekil 3.27. 35 mikron ortalama boyut ve % 55 pülpte katı oranındaki İstanbul KSK’nda pülöp sıcaklığına bağılı olarak viskozitesinin değışimi.

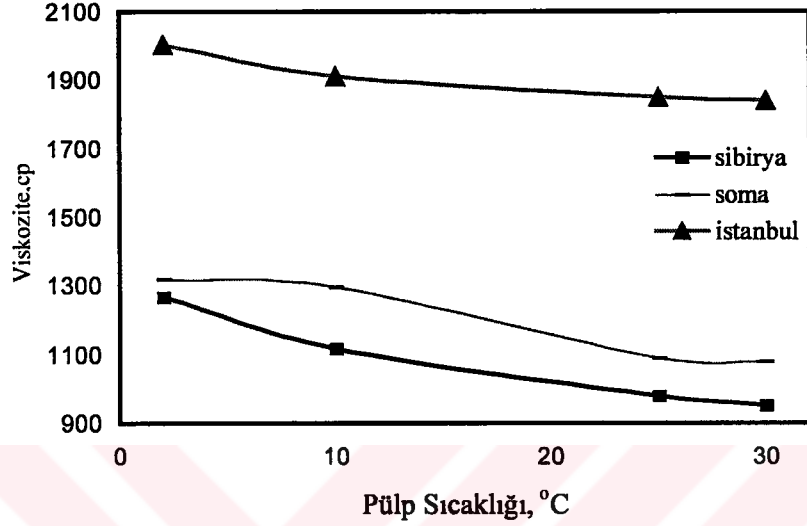


Şekil 3.28. 50 mikron ortalama boyut ve % 60 pülpte katı oranındaki İstanbul KSK’nda pülöp sıcaklığına bağılı olarak viskozitesinin değışimi.

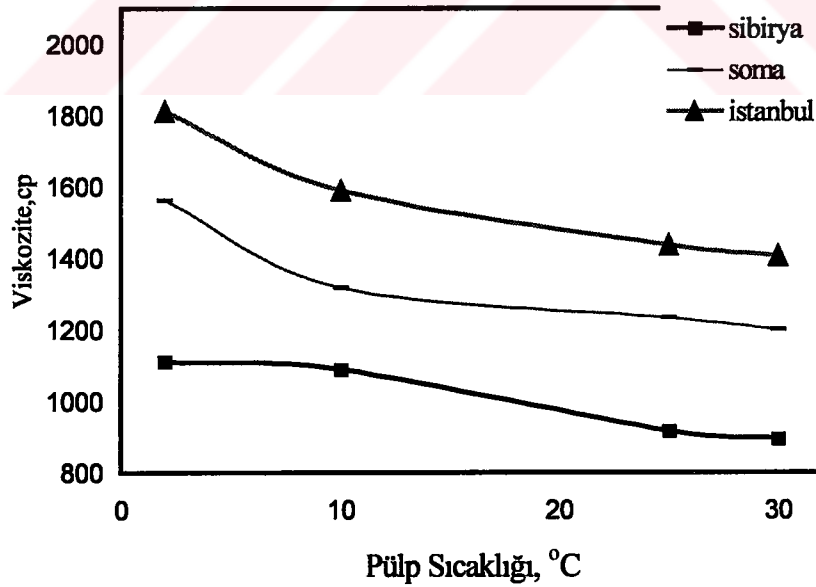
İstanbul kömürünün, değışik sıcaklıklardaki KSK viskozitesinin incelenmesinde, Şekil 3.26, 3.27 ve 3.28’de ısının artmasıyla viskozitenin azaldığı görülmüştür. %55 PKO’ya sahip 35 mikron ortalama boyutlu karışımın viskozitesi 10 derecede 1600 cp iken, 30 derecede 1400 cp’e düşmüştür.

3.6.2.4. Üç Kömüre Ait Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

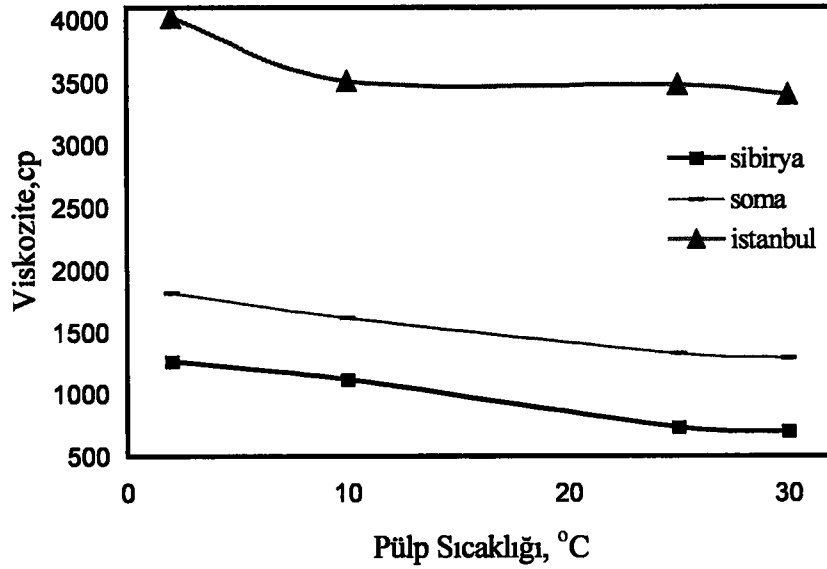
Şekil 3.29, 3.30 ve 3.31’de her üç kömürde farklı ortalama tane boyutlarında gerçekleştirilen deneylerin toplu gösterimi verilmektedir. İlgili şekillerden, pülp sıcaklığının artışıyla viskozitedeki azalma izlenmektedir.



Şekil 3.29. Üç kömür KSK’nın 19 mikron ortalama boyut ve % 48 pülp te katı oranında, pülp sıcaklığına bağlı olarak viskozitelerinin değişimi.



Şekil 3.30. Üç kömür KSK’nın 35 mikron ortalama boyut ve % 55 pülp te katı oranında, pülp sıcaklığına bağlı olarak viskozitelerinin değişimi.



Şekil 3.31. Üç kömür KSK'nın 50 mikron ortalama boyut ve % 60 pülp te katı oranında, pülp sıcaklığına bağlı olarak viskozitelerinin değişimi.

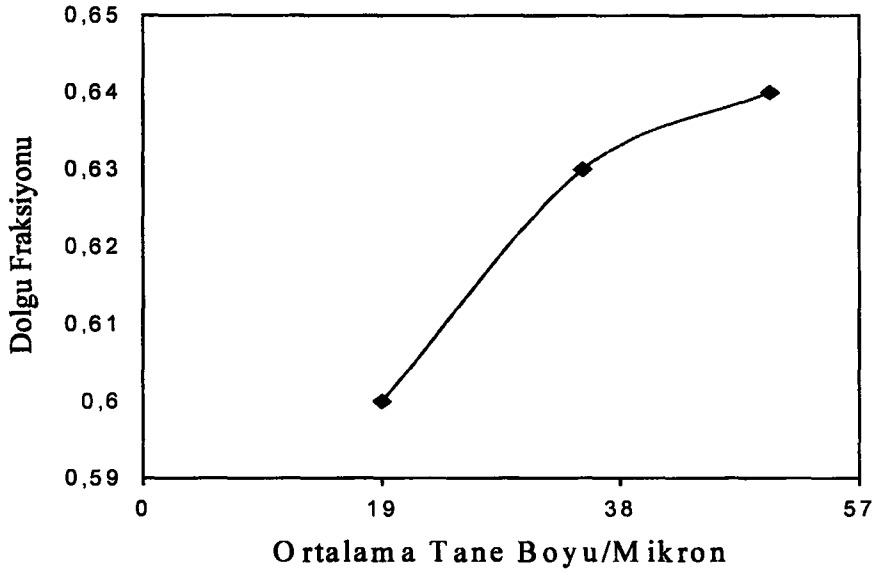
%60 PKO'ya sahip 50 mikron boyutlu karışımda, en yüksek viskozite değerlerini 3500-4000 cp arasında İstanbul KSK'sı, en düşük viskozite değerlerini ise 1300-700 cp ile Sibirya KSK'ı vermiştir.

3.6.3. Dolgu Fraksiyonunun Viskoziteye Etkisi

Kömür-su karışımlarında 'dolgu fraksiyonu' diye tanımlanan bir nevi kabarma oranı olan terimin, özellikle, KSK'nın viskozitesini etkilediği bilinmektedir [17]. Üç değişik kömürün üç farklı boyutlarındaki numunelerinin dolgu fraksiyonları belirlenmiş ve kömür-su karışımlarının viskoziteleri ölçülmüştür.

3.6.3.1. Sibirya Kömürü İle Gerçekleştirilen Deneyler

Sibirya kömürü ile çeşitli ortalama tane boylarındaki numuneler ile gerçekleştirilen analiz sonuçları Şekil 3.32 ve Tablo 3.10'da verilmiştir. Tane boyutu ile dolgu fraksiyonu arasında, dolgu fraksiyonu ile de viskozite arasında lineer bir bağıntı yapı vardır. Dolgu fraksiyonunun düşmesi; numunenin kabarma oranının azaldığını ifade etmektedir. Taneler arası boşluğun azalması da tanelerin birbirine sürtünmesini ve temasını arttırmakta; böylece, KSK viskozitesi de lineer artmaktadır. Sibirya kömürü ile KSK hazırlanırken, 1000 cp viskozite sınırında dolgu fraksiyonu 0,635; ortalama boyut da 35 mikron olmaktadır.



Şekil 3.32. Sibirya kömüründe ortalama tane boyutuna bağlı olarak dolgu fraksiyonunun değişimi .

Tablo 3.10. Sibirya kömüründe dolgu fraksiyonu ve viskozite ölçüm sonuçları.

Ort.Boyut, mikron	Viskozite, cp	Dolgu Fraksiyonu
50	732	0,64
35	1087	0,63
19	2182	0,6

Tablo 3.10'dan izlendiği üzere daha yüksek dolgu fraksiyonuna sahip olan 50 mikron ortalama tane boyutlu KSK ile daha düşük viskozitelere (732 cp) ulaşıldığı tesbit edilmiştir. 19 mikron boyutlu karışımın dolgu fraksiyonu 0,6 iken viskozitesi 2182 cp; 50 mikron boyutlu numunenin dolgu fraksiyonu 0,64 ile en yüksek olduğu halde, viskozitesi 732 cp.'dir.

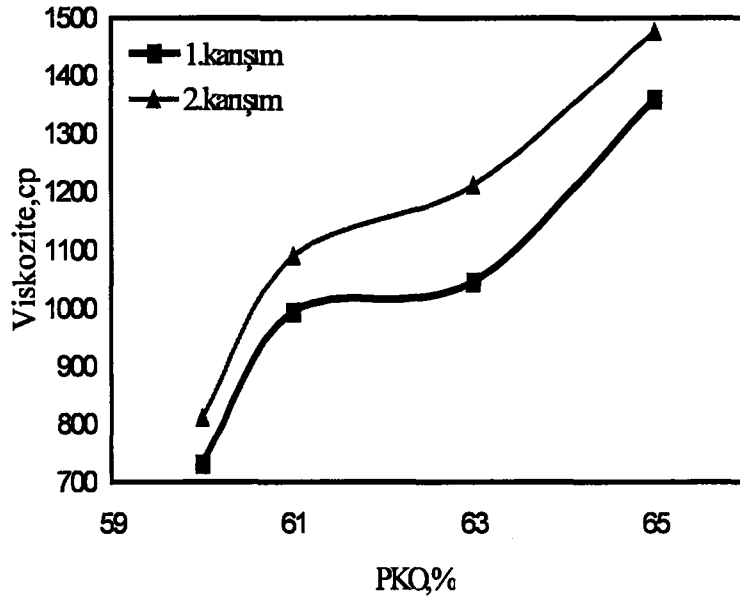
Bu grup deneylerin 2. aşamasında, 50 mikron ortalama tane boyutuna sahip, fakat, boyut dağılımları farklı olan 2 farklı kompozisyon hazırlanmıştır. Karışım numunelerinin boyut dağılımları tablo 3.11'de verilmiştir.

Tablo 3.11. 50 mikron ortalama tane boyutunda hazırlanan iki karışımın boyut dağılımları.

Boyut		1.karışım	2.karışım
mikron	ortalama boyut mikron	%M	%M
-210+106	158	3,33	0
-106+74	90	15,33	0
-74+53	63,5	21,33	40
-53+38	45,5	23,33	46,66
-38	19	36,66	13,33
Toplam		100	100

Birinci karışım (daha önceki deneylerde kullanılan karışım) daha iri boyut gruplarını içermektedir. İkinci karışım ise, daha küçük ve birbirine yakın boyut gruplarından oluşturulmuş olup, homogen bir karışımdır. Tamamı 74 mikron altındadır. Her iki karışım ile ilgili farklı PKO'larda ölçülen viskozite değerleri şekil 3.45'te verilmiştir. İkinci karışımın daha yüksek viskozite değerleri verdiği izlenmektedir. %65 PKO'ya sahip 50 mikronluk ortalama boyuta sahip iki karışımdan birincisi 1350 cp viskoziteye sahipken, daha küçük taneler içeren ikinci karışımın viskozitesi 1500 cp değerindedir.

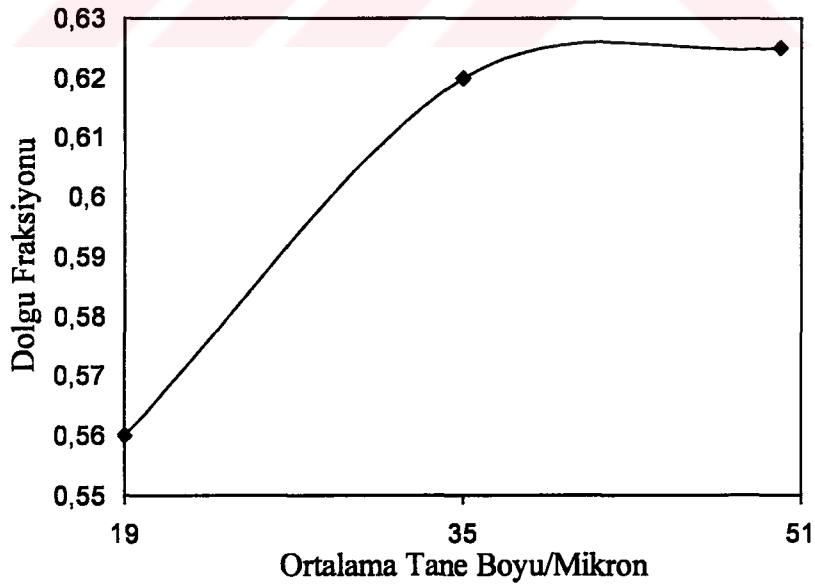
Şekil 3.33'den izlendiği üzere, %61'den daha düşük PKO'larda iki karışımın viskoziteleri daha yakın iken, PKO büyüdükçe viskoziteler arasındaki farklar 100 cp'ye kadar çıkmaktadır.



Şekil 3.33. Sibirya kömüründe, 50 mikron ortalama tane boyutlu birinci ve ikinci karışımın farklı P.K.O. larda viskozite ölçüm sonuçları.

3.6.3.2. Soma Kömürü İle Gerçekleştirilen Deneyler

Soma kömürü ile farklı ortalama tane boyutlarındaki numune ile gerçekleştirilen deney sonuçları şekil 3.34'te verilmiştir.

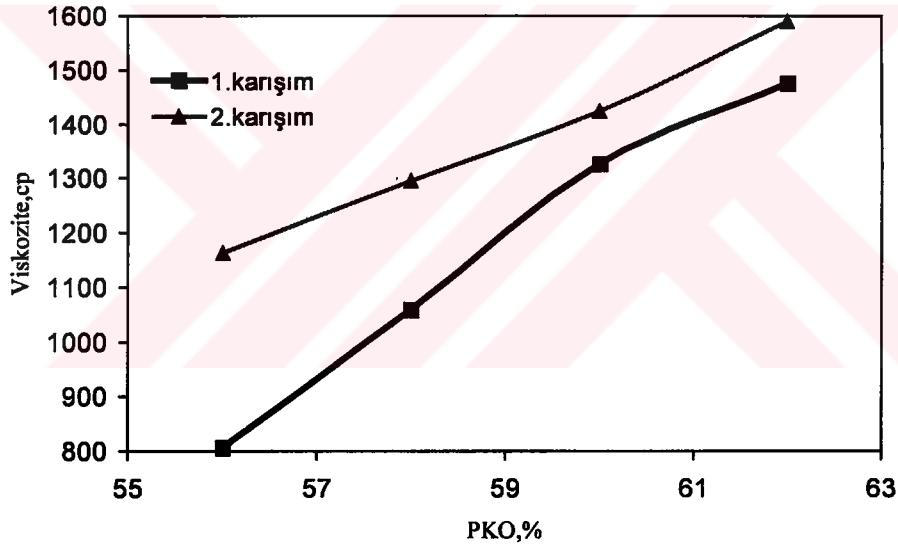


Şekil 3.34. Soma kömürünün ortalama tane boyuna göre dolgu fraksiyonunun değişimi.

Tablo 3.12. Soma kömürünün dolgu fraksiyonu ve viskozite ölçüm sonuçları.

Ort.Boyut, mikron	Viskozite, cp	Dolgu Fraksiyonu
50	788	0,63
35	1235	0,625
19	2811	0,58

Tablo 3.12’den izlendiği üzere daha yüksek dolgu fraksiyonuna (0,63) sahip olan 50 mikron ortalama tane boyutlu numune ile daha düşük (788 cp) viskozitelere ulaşıldığı tesbit edilmiştir. 19 mikron ortalama boyutlu numune 0,58 ile en düşük dolgu fraksiyonuna sahipken, 2811 cp ile de en yüksek viskoziteye sahiptir.



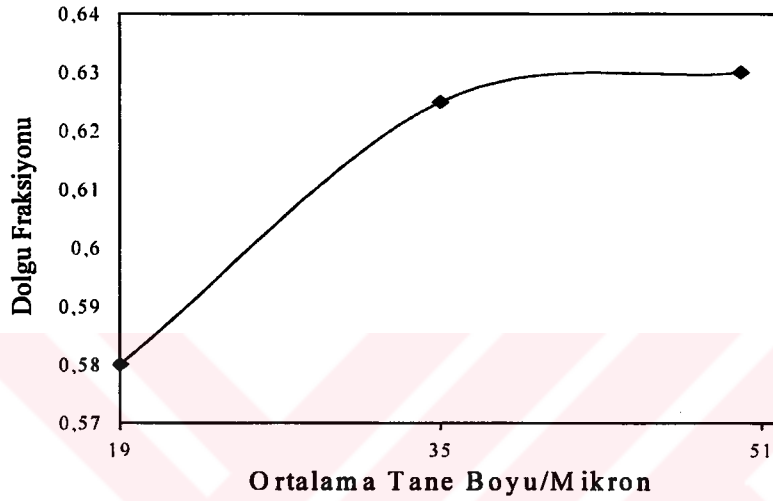
Şekil 3.35. Soma kömüründe, 50 mikron ortalama tane boyutlu birinci ve ikinci karışımın değişik P.K.O. larda viskozite değerleri.

Daha küçük ve birbirine yakın tanelerden oluşturulmuş homogen bir karışım olan ikinci karışımın daha yüksek viskozite değerleri verdiği şekil 3.35’ten izlenmektedir. %56 PKO’ya sahip 50 mikron ortalama boyuttan hazırlanan iki karışımın daha iri tanelerden oluşan birincisinin viskozitesi 800 cp iken, ikinci karışım 1150 cp viskozite vermektedir (Şekil 3.35).

Farklı boyut dağılımındaki Soma kömürü ile %55-59 PKO'da hazırlanan KSK'ların viskoziteleri arasındaki fark, Sibirya kömürünün tersine daha büyüktür. Sibirya kömüründe bu fark 100 cp civarı iken, Soma kömüründe 300 cp'e kadar çıkmaktadır.

3.6.3.3. İstanbul Kömürü İle Gerçekleştirilen Deneyler

İstanbul kömürü ile çeşitli ortalama tane boyutlarındaki numune ile gerçekleştirilen deney sonuçları şekil 3.36'da verilmiştir.



Şekil 3.36. İstanbul kömürünün ortalama tane boyuna göre dolgu fraksiyonu değişimi.

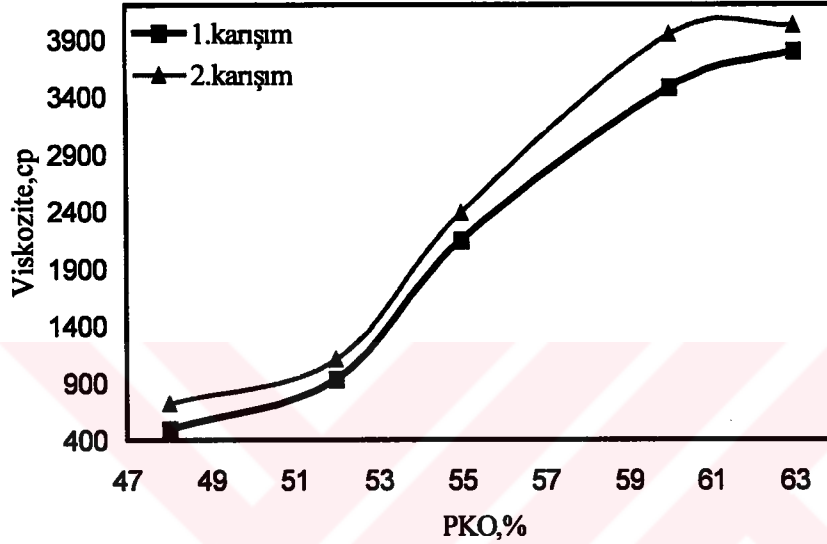
Tablo 3.13'ten izlendiği gibi daha büyük dolgu fraksiyonuna sahip olan 50 mikron ortalama tane boyutlu numune ile daha düşük viskozitelere ulaşılmıştır.

Diğer kömürlerde yapıldığı gibi, aynı ortalama tane boyuna (50 mikron) sahip iki farklı karışım hazırlanarak, dolgu fraksiyonunun etkisi incelenmiştir.

Tablo 3.13. İstanbul kömürünün dolgu fraksiyonu ve viskozite ölçüm sonuçları.

Ort.Boyut, mikron	Viskozite, cp	Dolgu Fraksiyonu
50	907	0,625
35	1432	0,62
19	2748	0,56

Tablo 3.13'ten izlendiği üzere daha yüksek dolgu fraksiyonuna sahip olan 50 mikron ortalama tane boyutlu KSK ile daha düşük viskozitelere ulaşıldığı tesbit edilmiştir. 19 mikron boyutlu karışımın dolgu fraksiyonu 0,56 iken viskozitesi 2748 cp; 50 mikron boyutlu numunenin dolgu fraksiyonu 0,625 ile en yüksek olduğu halde, viskozitesi 907 cp.'dir. 35 mikron ortalama boyutlu numunenin dolgu fraksiyonu 0,62 iken, viskozitesi 1432 cp ölçülmüştür.



Şekil 3.37. İstanbul kömüründe, 50 mikron ortalama tane boyutlu birinci ve ikinci karışımın değişik P.K.O. larda viskozite değerleri.

Farklı boyut dağılımına sahip iki karışımdan daha küçük tanelerden oluşan ikinci karışım düşük dolgu fraksiyonu ve yüksek viskoziteye sahiptir. Taneler arası boşluk azaldıkça, kömür taşıyan suyun hareket kabiliyeti de azalmaktadır. Daha fazla küçük boyutlu tane içeren karışımların dolgu fraksiyonunun da düşük olduğu ve bu durumun yüksek viskoziteye neden olduğu yapılan deneylerden anlaşılmıştır. Tane boyu büyüdükçe dolgu fraksiyonu artar, karışımı akıcı hale getirecek olan suyun daha rahat hareket etmesi sağlanır ve düşük viskozite elde edilir.

KSK hazırlanmasında 1000 cp viskozite sınır değeri olarak alındığında, Sibirya kömürü KSK'nda dolgu fraksiyonu 0,635, ortalama boyutu 38 mikron olmakta; bu değerler, Soma kömürü için 0,623 ve 42 mikron, İstanbul kömürü için 0,629 ve 50 mikron olmaktadır.

3.7. Çökelme İndeksi Deneyleri

Daha önce belirtilen yöntem kapsamında, her bir kömür üzerinde çökelme indeksi deneyleri yapılmıştır.

Çökelme indeksi deneylerinin sonuçları Sibirya kömürü için tablo 3.14'te, Soma kömürü için tablo 3.15'te, İstanbul kömürü için tablo 3.16'da verilmiştir. Kömürlerin boyut bazında karşılaştırılması da şekil 3.38, 3.39, 3.40'da verilmiştir.

Tablo 3.14. Sibirya kömürünün farklı ortalama boyutlu karışımlarının değişik püpte katı oranlarındaki çökelme indeksleri sonuçları.

Tane boyutu,mikron	PKO,%	Çökelme indeksi
19	45	1,031
	48	1,033
	52	1,037
35	53	1,113
	56	1,125
	60	1,183
50	60	1,2
	63	1,222
	65	1,246

Ortalama tane boyunun ve PKO'nun artmasıyla çökelme indeksi değerinin arttığı Tablo 3.14'ten görülmektedir. 35 mikron ortalama boyutlu, %60 PKO'ya sahip karışım 1,183 çökelme indeksine sahipken, 50 mikron ortalama boyutlu, %60 PKO'ya sahip karışım 1,2 çökelme indeksine sahiptir.

Tablo 3.15. Soma kömürünün farklı ortalama boyutlu karışımlarının değişik püpte katı oranlarındaki çökelme indeksleri sonuçları.

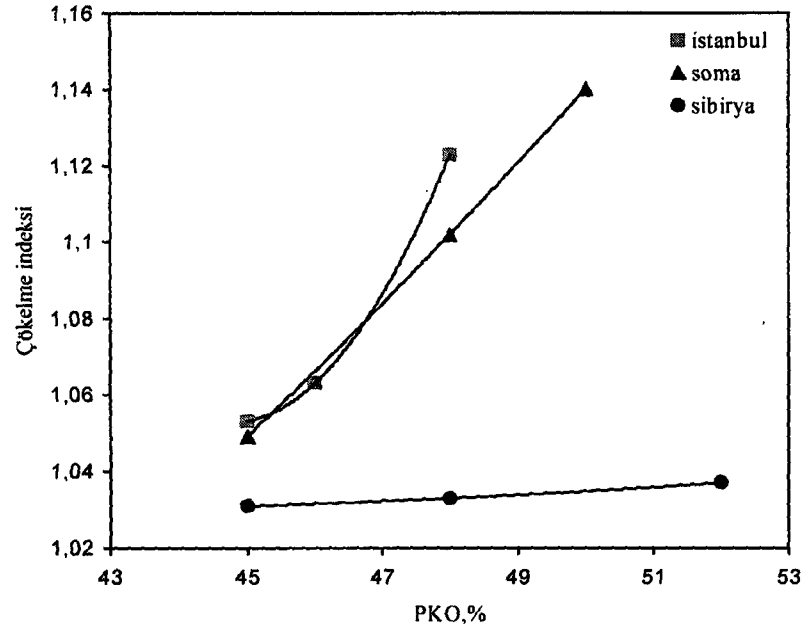
Tane boyutu,mikron	PKO, %	Çökelme indeksi
19	45	1,049
	48	1,102
	50	1,14
35	50	1,14
	53	1,189
	55	1,195
50	56	1,232
	58	1,241
	62	1,247

Tablo 3.16. İstanbul kömürünün farklı ortalama boyutlu karışımlarının değişik püpte katı oranlarındaki çökelme indeksleri sonuçları.

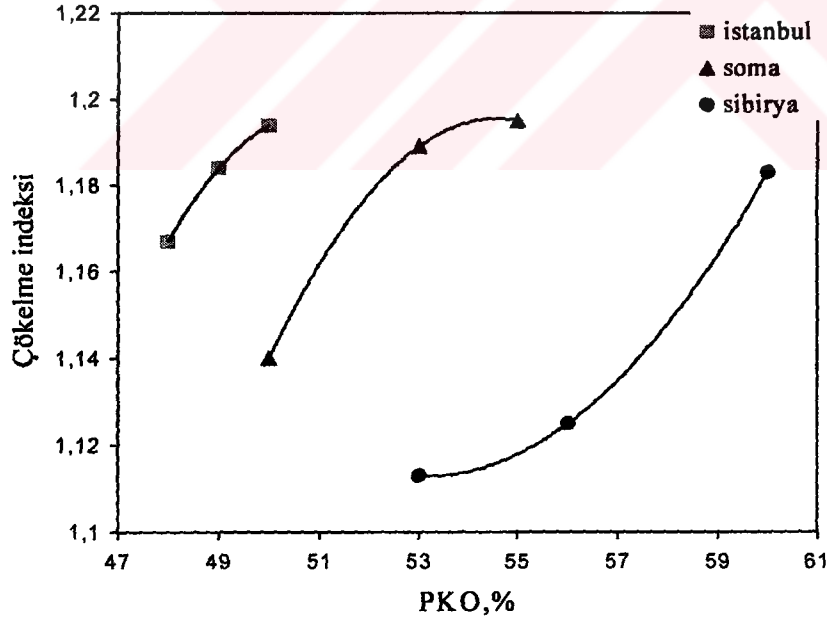
Tane boyutu,mikron	PKO, %	Çökelme indeksi
19	45	1,053
	46	1,063
	48	1,123
35	48	1,167
	49	1,184
	50	1,194
50	50	1,22
	53	1,302
	55	1,345

%45 PKO'ya sahip karışımda İstanbul kömürü 1,053 ile en yüksek, Sibirya kömürü 1,31 ile en düşük çökelme indeksini vermiştir. 50 mikron boyutlu, %55 PKO'ya sahip İstanbul kömürü 1,345 değeri verirken, %65 PKO'ya sahip Sibirya kömürü 1,246 ile daha düşük çökelme indeksini vermiştir.

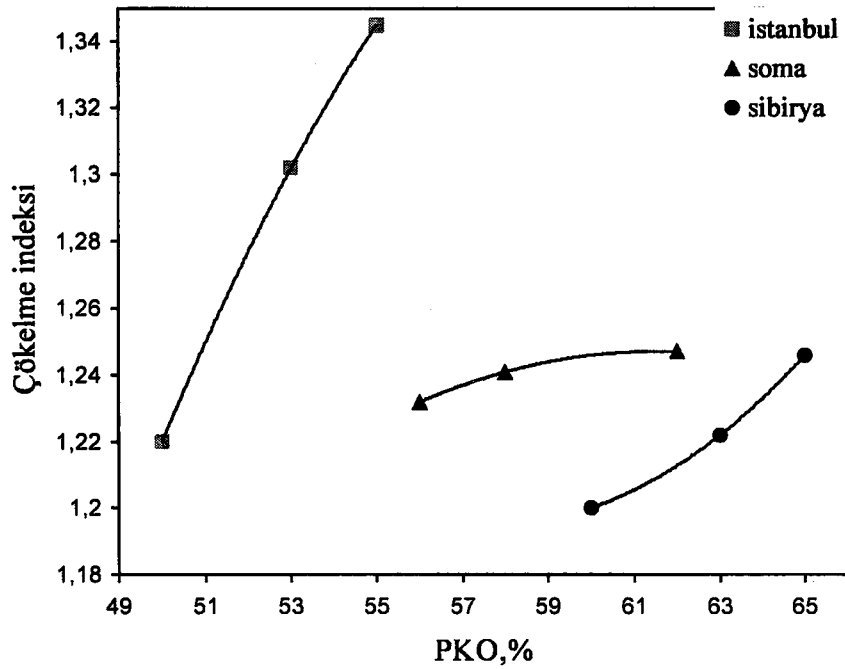
Kömürlerin boyut bazında karşılaştırılmaları şekil 3.38, 3.39, 3.40'da verilmiştir.



Şekil 3.38. Üç kömürün 19 mikron ortalama boyutlu karışımlarında çökelme indeksinin PKO'ya göre değişimi.



Şekil 3.39. Üç kömürün 35 mikron ortalama boyutlu karışımlarında çökelme indeksinin PKO'ya göre değişimi.



Şekil 3.40. Üç kömürün 50 mikron ortalama boyutlu karışımlarında çökme indeksinin PKO'ya göre değişimi.

Şekil 3.38, 3.39 ve 3.40'da da görülebileceği gibi tane boyutu büyüdükçe ve aynı kömürler için PKO yükseldikçe çökmenin arttığı tesbit edilmiştir. %45 PKO'da 19 mikron boyutlu Sibirya kömürü 1,031 çökme indeksi verirken, %60 PKO'da 50 mikron boyutlu karışım 1,2 gibi daha yüksek değere sahiptir. Kömürler arasında en az çökme Sibirya, en fazla çökme ise İstanbul kömüründe gerçekleşmiştir. Sibirya kömürünün diğerlerine göre daha yüksek kömürleşme derecesine sahip olması ve daha fazla dispersan madde adsorblaması, tanelerin daha iyi dağılmasına ve daha düşük viskozite vermesine neden olmakta; buna bağlı olarak da çökmenin yavaşlaması sağlanmaktadır.

3.8. Kömür-Su Karışımlarının Akış Türünün İncelenmesi

Viskozite ölçüm deneyleri sırasında, viskozimetrenin milinin dönme hızı 100 devir/dakika olarak alınmıştır. KSK'nın akış türünü belirlemek için değişik dönme hızlarında KSK'nın kayma gerilimi ve kayma hızı değerlerine ihtiyaç vardır. Bunun için, üç kömürün %45 PKO'da 19 mikron ortalama boyutlu KSK'larında viskozite

ölçümleri değişik dönme hızlarında yapılmış ve KSK'ların kayma gerilimleri ile kayma hızları saptanmıştır. Bu deneylere ait sonuçlar tablo 3.17'de verilmiştir.

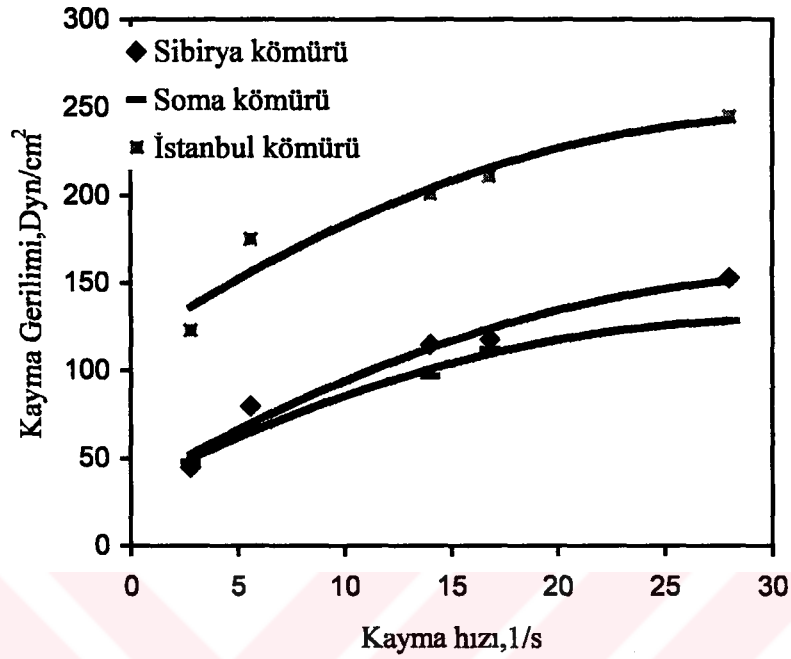
Genel olarak viskozimetrenin dönme hızının artmasıyla, kayma hızının da paralel bir artış gösterdiği Tablo 3.17'den anlaşılmaktadır.

Tablo 3.17. Sibirya, Soma ve İstanbul KSK'larının, viskozimetre'de değişik dönme hızlarındaki viskozite ve kayma hızı, kayma gerilimi değerleri.

Kömür cinsi	dev/dak (%)	Viskozite (cp)	Kayma gerilimi (Dyn/cm ²)	Kayma hızı (1/s)
Sibirya	10	1750	44,8	2,8
	20	1625	79,8	5,6
	50	870	114,8	14
	60	625	117,6	16,8
	100	440	152,6	28
Soma	10	2075	48	2,8
	20	1910	68	5,6
	50	1025	97	14
	60	780	112	16,8
	100	558	128	28
İstanbul	10	2425	123	2,8
	20	2210	175	5,6
	50	1440	201	14
	60	1210	211	16,8
	100	975	245	28

Akışkanlar, üzerlerine uygulanan kayma hızına (veya kayma gerilimine) bağlı olarak, çeşitli davranış özellikleri göstermektedir. Ne tip bir akış durumu gösterdikleri, yapılan ölçümlerden sonra çizilen, kayma hızı-kayma gerilimi reogramından anlaşılabilir.

Artan kayma hızı ile viskozitede azalma eğilimi gösteren maddelere, “Psödoplastik” veya “Shear Thinning” davranımı gösteren maddeler adı verilmektedir.



Şekil 3.41. 19 mikron ortalama boyut ve % 45 pülpte katı oranındaki Sibirya, Soma ve İstanbul KSK'nın kayma gerilimi-kayma hızı reogramı.

Genel olarak viskozimetrenin dönme hızının artmasıyla, kayma hızının da paralel bir artış gösterdiği saptanmıştır. Kayma geriliminin artmasıyla viskozitenin azaldığı anlaşılmıştır. Bunun yanı sıra, her üç kömürde de kayma geriliminin artmasıyla kayma hızının parabolik bir şekilde arttığı şekil 3.41'den de görülmektedir. Bu tür bir akışın Psödoplastik/Shear Thinning yapıda olduğu anlaşılmıştır (Şekil 2.6)[22,23].

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

1. Kömür özelliklerinin, kömür-su karışımlarının reolojisine etkisinin araştırıldığı çalışmada;

%6,53 kül, %22,35 uçucu madde, %71,12 sabit karbon içerikli Sibiry kömürü,

%7,58 kül, %41,1 uçucu madde, %51,32 sabit karbon içerikli Soma kömürü,

%14,43 kül, %37,5 uçucu madde, %48 sabit karbon içerikli İstanbul-Ağaçlı kömürleri kullanılmıştır.

2. Deneylerde kullanılan ve ortalama tane boyu 19, 35 ve 50 mikron boyutlarında bulunan kömür numunelerinde gerçekleştirilen fiziksel özelliklerin tesbitine yönelik çalışmalarda;

a) Özgül yüzey alanı ve porozite değerleri en yüksek İstanbul-Ağaçlı kömüründe ve en düşük değerler ise Sibiry kömüründe saptanmıştır. Ortalama 35 mikron tane boyutlu numunelerde özgül yüzey alanı değerleri, Sibiry kömüründe 0,325 m²/gr, Soma kömüründe 0,382 m²/gr ve İstanbul-Ağaçlı kömüründe ise 0,560 m²/gr olarak saptanmıştır. Porozite değerleri ise; Sibiry kömüründe %9,2, Soma kömüründe %11,8 ve İstanbul-Ağaçlı kömüründe %18,3 olarak tesbit edilmiştir.

b) Zetametre ile gerçekleştirilen yüzey yükü tesbiti deneylerinde; Nötr pH'da zeta potansiyeli değerleri Sibiry kömürü için -20 mV, Soma ve İstanbul-Ağaçlı kömürleri için ise -30 mV olarak saptanmıştır. Reaktifli (Dispersan+Stabilizör) ölçümlerde ise bu değerler; Sibiry kömüründe -55mV'a, Soma kömüründe -60 mV'a, İstanbul-Ağaçlı kömüründe ise -58 mV'a yükselmiştir.

c) PSS (Sodium Polystrene Sulfonate, polielektrolit) anyonik dispersanı ile gerçekleştirilen adsorbsiyon deneylerinde; adsorbsiyon kapasitesi en yüksek kömürün Sibiry kömürü olduğu tesbit edilmiştir. En az kapasiteye sahip olan kömür ise İstanbul-Ağaçlı kömürüdür. Adsorbsiyon yoğunluğu, kömür

numunelerinin kömürleşme derecesi arttıkça yükselmektedir. Kömürleşme derecesi arttıkça yüzeydeki oksijen içeren fonksiyonel gruplar azalır ve anyonik reaktiflerin adsorbsiyon miktarı artar. Reaktifin hidrofobik kısmının, kömür yüzeyinin hidrofobik kısmına bağlanmasıyla adsorbsiyon gerçekleşmektedir. Toplam yüzey alanının en fazla olduğu İstanbul-Ağaçlı kömürünün adsorbsiyon yoğunluğunun en düşük kömür olması, özgül yüzey alanı ve porozite değerlerindende açıklanabilir. Aynı miktarda ilave edilen reaktiflerin doğal olarak, düşük toplam yüzey alanına sahip daha yüksek adsorbsiyon yoğunluğu değerleri vermesi doğaldır. Sibirya kömüründe elde edilen yüksek adsorbsiyon değerleri bu nedenle de gerçekleşmiştir.

3. Kömürler üzerinde, farklı ortalama tane boyutlarında (19, 35 ve 50 mikron) yapılan ve pülp te katı oranının viskozite üzerine etkisinin incelendiği deneylerde; Her üç ortalama tane boyunda da pülp te katı oranı arttıkça viskozitenin arttığı; 50 mikron ortalama boyutlu Sibirya kömürünün, %60 PKO'ya sahip karışımında 750 cp, %63 PKO'ya sahip karışımında 1050 cp, %65 PKO'ya sahip karışımında ise 1800 cp viskoziteye sahip olduğu tespit edilmiştir. Boyutun küçülmesi ile de viskozitenin yükseldiği; %60 PKO'ya sahip Sibirya kömürünün 50 mikron tane boyutlu karışımının 750 cp, 35 mikron tane boyutlu karışımın 1300 cp, 19 mikron tane boyutlu karışımın 2400 cp viskoziteye sahip olduğu tesbit edilmiştir. Ortalama tane boyu büyüdükçe, viskozitenin azaldığı, yüksek PKO'larda viskozitenin aşırı arttığı saptanmıştır. Her üç kömür numunesi için; daha iri tane boyunda hazırlanan karışımlarla, daha düşük viskoziteli karışımların elde edildiği görülmüştür. Küçük tane boyuna sahip numune ile hazırlanan karışımların viskozitesi yüksek olmuştur. Bu durum, tanelerin dolgu fraksiyonları ile doğrudan ilişkilidir. Küçük tane boyutlu karışımların dolgu fraksiyonları da düşük olmaktadır. Düşük dolgu fraksiyonuna sahip kömür ile hazırlanan karışımların viskoziteleri yüksek olmuştur. Düşük dolgu fraksiyonuna sahip kömür sıkı (kompakt) bir durum sergiler ve süspansiyon sağlayıcı akışkan, taneler arasındaki boşlukların az olması nedeniyle, buralara kolayca yerleşemez veya yerleştikten sonra serbestçe hareket edemez. Bunun sonucu olarak, hareket esnasındaki iç sürtünme artar ve harekete karşı daha büyük bir direnç oluşur; akışkanın viskozitesi artar. Dolgu fraksiyonu artan tane boyuna bağlı olarak, daha gevşek bir durum aldıkça, taneler arasındaki boşluklarda fazlalaşır. Bunun sonucunda süspansiyon düşük viskoziteli bir akışkan davranımı gösterir. Ancak çökme sorunları

ve karışımın yakılması esnasındaki tane boyu sınırlamaları nedeniyle, tane boyu fazla arttırılamamaktadır.

4. 1000 cp viskozite değerinde (100 dev/dak'da) elde edilen pülpde katı oranları üç değişik kömür için farklı değerler vermiştir. 19 mikron ortalama boyutta, Sibirya ve Soma kömürlerinden oluşan KSK'ya İstanbul kömürü KSK'na göre daha fazla katı yüklemesi yapılabilmektedir. 35 mikron ortalama boyutta, en yüksek katı yüklemesi, sırasıyla, Sibirya, Soma ve İstanbul kömürlerinin KSK'larından elde edilmiştir. 50 mikron ortalama boyutta ise, farklar dahada belirginleşmiştir. Sibirya KSK'sında 63, Soma KSK'sında 58 ve İstanbul KSK'sında 53 (%PKO) katı yüklemesine ulaşılmıştır. Kömürler arasında en fazla katı yüklemesi yapılabilen ve en düşük viskoziteyi veren Sibirya kömürüdür. En az katı yüklemesi yapılabilen ve en yüksek viskoziteyi veren kömür ise, İstanbul-Ağaçlı linyitidir. Bu durum kömürleşme derecesi, dolayısıyla porozite, nem çekme özelliği, uçucu madde, C/H ve O/H içeriği ile ilişkilidir. Kömürleşme derecesi arttıkça, porozite ve nem çekme özelliği (hidrofillik) azalmaktadır. Sibirya kömürünün porozite değeri %9 iken, İstanbul kömürünün %19'dur. Porozite ve nem çekme özelliği arttıkça, karışımları hareketlendirmek için ortama ilave edilen su gözenekli yapı içine gireceğinden, taneler arasında karışımı akıcı hala getirmek için gerekli olan su miktarı azalacaktır. Dolayısıyla viskozite artacaktır. Bunun yanında, kömürleşme derecesi azaldıkça, yüzeylerdeki oksijen içeriği artacağından, dispersiyona ve dolayısıyla viskozitenin düşmesine sebep olan dispersan madde iyonlarının, yüzeye adsorbe kabiliyeti de azalmış olacaktır.

5. Kömür-su karışımlarında ısının viskozite üzerindeki etkisinin araştırıldığı deneylerde; ısının artmasıyla viskozitenin azaldığı; %48 PKO'ya sahip 19 mikron boyutlu Sibirya kömürünün 2 derecede 1268 cp, 10 derecede 1118 cp, 25 derecede 980 cp, 30 derecede 952 cp viskoziteye ulaşıldığı saptanmıştır. Soma ve İstanbul-Ağaçlı kömür-su karışımlarının viskozitelerinde de benzer azalmalar tesbit edilmiştir.

6. Kömür-su karışımlarının belirli bir süre (yaklaşık bir hafta) çökmemesi ve süspansiyon içindeki tanelerin askıda durması gerekmektedir. Bu özelliğin tesbiti ile ilgili olarak gerçekleştirilen çökme deneylerinde; Sibirya kömürünün en az ve İstanbul-Ağaçlı kömürünün en fazla çökme özelliği gösterdiği saptanmıştır. Ortalama 19 mikron tane boyuna sahip kömürlerde yapılan deneylerde; %45 pülpde katı

oranlarında İstanbul-ağaçlı kömüründe çökelme indeksi 1,053 iken, bu değer Sibirya kömüründe 1,031 olarak tesbit edilmiştir. Çökelme indeks değeri Soma kömüründe ise 1,049 olarak saptanmıştır.

7. Aynı ortalama tane boyuna sahip, ancak farklı tane fraksiyonları içeren numunelerin reolojik özellik değişimlerini saptamak üzere, 50 mikron ortalama tane boyuna sahip 2 farklı kompozisyon hazırlanmıştır. Daha küçük ve birbirine yakın tanelerden oluşturulmuş homojen karışımın, daha geniş boyut fraksiyonlarını içeren karışımdan daha büyük viskozite değeri verdiği tesbit edilmiştir. Örneğin; Soma kömürü ile %56 pülpte katı oranı ile yapılan viskozite ölçümlerinde, birbirine yakın tane boyu içeren karışımın viskozitesi 1150 cp iken, diğer karışımın viskozite değeri 800 cp olarak tesbit edilmiştir. Tamamı aynı boyut fraksiyonuna sahip numune ile hazırlanan karışımlarla, farklı tane boyutlu fraksiyona sahip numunelerden hazırlanan karışımların çökme özellikleride farklı olabilmektedir. Bunun nedeni; farklı tane fraksiyonları arasında meydana gelen boşluklara küçük tanelerin kolayca yerleşerek bir şebekeleşme durumu yaratmalarındır. Böylece tanelerin birbirleri üzerinde kaymak suretiyle meydana getirdikleri çökme zorlaşmaktadır.

8. Gerçekleştirilen deneylerden; yüksek dolgu fraksiyonu, düşük çökelme indeksi ve viskozite veren karışımın, ortalama tane boyu 50 mikron olan karışım olduğu saptanmıştır. Tane boyu küçüldükçe, sıkılaşma artmakta ve taşıyıcı akışkan olan su hareket edecek alan bulamamaktadır. Küçük tane boyuna sahip karışımların dolgu fraksiyonu düşük olmaktadır. Düşük dolgu fraksiyonuna sahip linyit viskoziteyi arttırdığından KSK'ya uygun değildir. Tane boyu arttıkça dolgu fraksiyonu büyür, taneler arası boşluk artar, dolayısıyla karışımı akıcı hale getirecek olan su rahat hareket eder ve düşük viskozite elde edilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Pourkashanian, M.**, 1987. The Combustion on Residual Fuel-oil, Coal and Slurries, *PhD. Thesis*, Leeds University, England, January.
- [2] **Natolt, J., Mahar, R. C., Bobsein, B. R.**, 1985. 2nd European Conference on Coal Liquid Mixtures, I.Chem.E.Symp. Series, No.95, pp. 17-36.
- [3] **Bognolo, G.**, 1987. Spec. Publ.R.Soc.Chem., 59, pp. 235-49.
- [4] **Dubin, G. W., Knell, E. W., Rakitsky, W. G.**, 1985. 5th. Jnt.Workshop on Coal-Liquid Fuels Technology, Halifax, Nova Scotia, Canada, October 14-18,pp. 156-180.
- [5] **Skolnik, E. G., Scheffee, R. S.**, 1985. 5th. Int.Workshop on Coal-Liquid Fuels Technology, Halifax, Nova Scotia, Canada, October 14-18, pp. 265-276.
- [6] **Al Taweel, A. M., Fadaly, O.**, 1985. Technical Report No: 0.07 (TR-007), Technical University of Nova Scotia, Halifax-Canada, September.
- [41] **van Krevelen, D. W.** Coal, 1961. Elsevier Publ.Co., Amsterdam, [Kaynak 7'den].
- [7] **Wu, J., Sqng, Y., Zhang, C., Li, X., Wang, Z.**, 1986. 8th.Int.Symp.on Coal Slurry Fuels Prep.and Util., May 27-30 Orlando-Florida, pp. 10-18.
- [8] **Boger, D. V., Leong, Y. K., Mainwaring, D. E., Christie, G. B.**, 1987. 3rd.European Conference on Coal Liquid Mixtures, I..Chem.E.Symposium Series, No.107, Malmö, pp. (1-13), 14-15 Oct.
- [9] **Allen, J. W.**, 1984. Modern Power Systems, pp. 43-45, March.
- [10] **Elliot, D. E., Gliddon, B. J.**, 1970. Hydrotransport 1, Paper G2.
- [11] **Toda, M., Kuriyama, M., Konna, H., Honma, T.**, 1988. Powder Technology, Vol.55, pp. 241-245.
- [12] **Boylu, F., Ateşok, G.**, 1999. Çevre Dostu Yeni Bir Enerji Hammaddesi: Kömür-su Karışımları, Türkiye'de Kömür Politikaları ve Temiz Kömür Teknolojileri Semp., pp:154-161, 21-22 Ekim, Ankara.
- [13] **Laskowski, J.S.**, 1999. "Does It Matter How Coals are Cleaned for CWS", Coal preparation, vol: 21, pp: 105-123.
- [14] **Nedo** 1997. (New Energy and Industrial Technology Development Organization), "CWM in Japan", March.

- [15] **Yavuz, R., Küçükbayrak, S.**, Kömür-su karışımlarının hazırlanması ve yakılması, Kömür kitabı, Editör; Kural, O., pp: 435-451.
- [16] **Miller, B. G.**, 1989. Chem.Eng.Progress, pp. 29-38, March.
- [17] **Yavuz, R.**, 1996. Linyit-su Karışımlarının İncelenmesi, İTÜ Fen bilimleri Enstitüsü *Doktora Tezi*.
- [18] **Atlas, H., Cassasa, E. Z., Parfitt, G. D., Toor, E. W.**, 1985. 7th.Int.Symp. on Coal Slurry Fuels Prep. and Util., New Orleans, LA, pp. 1-14, May.
- [19] **Zang, Z., Zhang, L., Fu, Jiang, L.**, 1993. Additive for Coal-Water Slurry made from Weak Slurriability Coal, 18th.Int.Technical Conferance on Coal Utilization & Fuel Systems, pp:361-367, Florida, U.S.A.
- [20] **Bingham, E. C.**, 1922. Fluidity and Plasticity, McGraw-Hill, NewYork.
- [21] **Barnes, H. A, Hutton, J. F., Walters, K.**, 1989. An Introduction to Rheology, Elsevier Sci.Publ.
- [22] **Eirich, F. R.** 1956-1969. (Ed.), Rheology, Theory and Applications, Vols. 1-.5, Academic Press, New York.
- [23] **Hediger, M.**, 1968. Measurements of Rheological Properties with Particular Consideration of Rheomat- 15, Contraves Industrial Products Ltd.
- [24] **Guo,J., Tiu, C., Hodges, S., P. H. T. Uhlerr**, 1999. Hydrothermal-Mechanical Upgrading of Brown Coal, Coal Preparation, vol: 21, 35-52.
- [25] **Suwono, A., Hamdani**, 1999. Upgrading of the Indonesian's Lowrank Coal by Superheated Steam drying with Tar Coating Process and Its Application for Preparation of CWM, Coal Preparation, vol:21, pp:149-159.
- [26] **Ohki, A., Xiao-Feng Xie, Nakajima, T., Hahara, T., Maeda, S.**, 1999. Change in properties and Combustion Characteristics of an Indonesian Low Rank Coal due to Hydrothermal Treatment, Coal Preparation, vol:21, pp:23-34.
- [27] **Saeki, T., Tatsukawa, T., Usui, H.**, 1999. Preparation Techniques of Coal-Water Mixtures with Upgraded Low Rank Coals, Coal Preparation, vol:21, pp: 161-176.
- [28] **Yıldırım, İ., Ateşok, G., Çelik, M. S.**, 1995. Laboratuvar-Pilot Tip Multi Gravite Cihazı ile Kömür-su Karışımları için Süper Düşük Küllü Kömür Üretimi, Türkiye 14. Madencilik Kongresi, pp: 443-448, Ankara.
- [29] **Özbayoğlu, G., Mamurkeli, M.**, 1988. Zonguldak Kömürlerinden Süper Temiz Kömür Üretimi, Türkiye 6. Kömür Kongresi, pp: 159-169, 23-27 Mayıs, Zonguldak.
- [30] **Dinçer, H., Ateşok, G., Doğan, M. Z., Girgin, Ş., Boylu, F., Yüksel, Ö.**, 2000. Removal of Sulphur and Mineral Matter from Coal Sluury by a Pilot Scale Wet Magnetic Seperator, Roma-İtaly.

- [31] **Olen, K. R.**, 1984. The American Society of Mechanical Engineers, pp(1-7).
- [32] **Allen, J. W., Rennie, A. G.**, 1985. Welbourne, MC., 2nd. European Conf. On Coal Liquid Mixtures, IchemE Symp. Series No.95, pp(101-113).
- [33] **Ke-Fa, C., Guoquang, H., Mingjiang, N.**, 1985. 2nd. European Conf. On Coal Liquid Mixtures, IchemE Symp. Series No.95, pp(87-99).
- [34] **Shang, Y. J.**, 1984. An Overview of Fluidized Bed Combustion Boilers, in Fluidized Bed Boilers: Design and Application, Ed. P.Basu, Pergamon Press, Newyork, N.Y.
- [35] **Ke-Fa, C.**, 1982. et al., Proc. Of the 7th. Int. Symp. On Fluidized Bed Combustion, Vol.1, pp(253), Philadelphia.
- [36] **Trivett, G. S., Soloma, R. Z., Field, R. S., Tawell, A. M., Mackay, G.D.M.**, 1985. 2nd. European Conf. On Coal Liquid Mixtures, IchemE Symp. Series No.95, pp(147-161).
- [37] **Mackay, G. D. M., Trivett, G. S., Field, R. S., Zayed, R. S., Altaweel, A. M.**, 1985. Proc. Int. Conf. On Coal Science, Sydney, pp(427-430), Oct.28-31.
- [38] **Miller, B. G.**, 1989. Power, 133 (9), pp(78-81), Sept.
- [39] **White, A.**, 1989. Pulp and Paper Canada, 90 (9), pp (94-96).
- [40] **Moore, T.**, 1984. Epri Journal, pp(1-13), July/August.
- [41] **Yiğit, B.**, 2000. Kömür-su karışımlarının Yüzey Kimyasal Özelliklerinin İncelenmesi, *Bitirme çalışması*, İTÜ., Maden Mühendisliği Bölümü.

ÖZGEÇMİŞ

1972 İstanbul doğumlu Erşah KOÇAK, orta ve lise öğrenimini bitirdikten sonra, 1992 yılında girdiği İstanbul Üniversitesi Maden Mühendisliği bölümünü 1996 yılında tamamladı. 1998 yılında Yüksek Lisans eğitimine başladığı, İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, Cevher-Kömür Hazırlama ve Değerlendirme Anabilimdalı'ndan, 2001 yılında mezun oldu.

